

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 1 月 20 日 (20.01.2005)

PCT

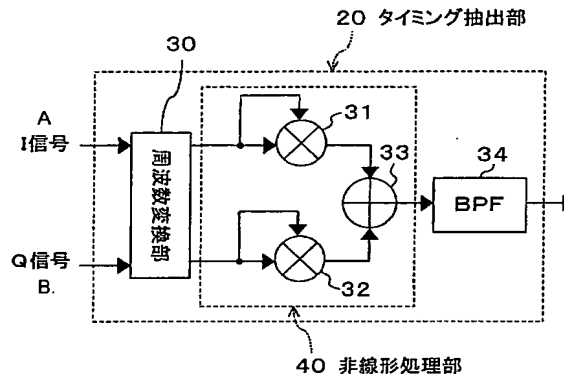
(10) 国際公開番号
WO 2005/006694 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H04L 27/22, 27/00, 7/027
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008246
(22) 国際出願日: 2004 年 6 月 7 日 (07.06.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願2003-273698 2003 年 7 月 11 日 (11.07.2003) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電
器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUS-
TRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大
字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 曾我 茂 (SOGA,
Shigeru).
(74) 代理人: 前田 弘, 外 (MAEDA, Hiroshi et al.); 〒
5410053 大阪府大阪市中央区本町 2 丁目 5 番 7 号
大阪丸紅ビル Osaka (JP).
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

[続葉有]

(54) Title: TIMING EXTRACTION DEVICE AND METHOD, AND DEMODULATION DEVICE USING THE TIMING EX-
TRACTION DEVICE

(54) 発明の名称: タイミング抽出装置及び方法並びにそのタイミング抽出装置を備えた復調装置



A...I SIGNAL
B...Q SIGNAL
30...FREQUENCY CONVERSION SECTION
20...TIMING EXTRACTION SECTION
40...NON-LINEAR PROCESSING SECTION

(57) Abstract: In a timing component extraction device for a digital modulation signal, a frequency conversion section (30) inputs a complex base band signal consisting of I signal and Q signal having a symbol rate f_s and frequency-converts a $\pm f_s/2$ -frequency component accompanying a data change into $\pm f_s/4$ frequency. Multipliers (31, 32) calculate squares of the I signal and Q signal of the complex base band signal and the obtained squares are added by an adder (33), thereby performing non-linear processing. A BPF (34) extracts a $\pm f_s/2$ -frequency component from the output of the adder (33) and outputs it as a timing signal. Thus, it is possible to perform processing with a sampling frequency twice greater than the symbol rate f_s and stably extract timing without being affected by the carrier frequency offset.

(57) 要約: デジタル変調信号用のタイミング成分抽出装置において、周波数変換部 30 は、シンボルレート f_s の I 信号及び Q 信号より成る複素ベースバンド信号を入力し、データ変化に伴って存在する $\pm f_s/2$ 周波数成分を $\pm f_s/4$ 周波数に周波数変換

[続葉有]



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

する。乗算器31、32は、複素ベースバンド信号のI信号及びQ信号を各々2乗し、その各2乗結果を加算器33で加算することにより、非線形処理する。BPF34は、加算器33の出力のうち $\pm f_s/2$ の周波数成分を抽出し、タイミング信号として出力する。従って、シンボルレート f_s の2倍のサンプリング周波数で処理が可能であり、且つキャリア周波数オフセットの影響を受けず安定にタイミング抽出する。

明細書

タイミング抽出装置及び方法並びにそのタイミング抽出装置を備えた復調装置

技術分野

本発明は、デジタル衛星TV放送やデジタルケーブルTV放送等で用いるPSK (Phase Shift Keying) 方式や、QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 方式等のデジタル変調方式を復調する際に、その復調に必要なタイミングを抽出するタイミング抽出装置及び方法に関する。

背景技術

従来、PSK方式やQAM方式などのデジタル変調信号から、その信号に含まれる情報を復調、再生するためのタイミング成分の抽出方法として、例えば、特許第2555140号明細書(特許文献1)に記載されるものがある。このものは、シンボルのデータ変化に伴ってデジタル変調信号に存在するシンボルレート f_s の1/2倍の周波数成分を非線形処理して、 f_s の周波数成分を抽出するものである。

この抽出方法では、非線形処理するので、受信機側で利用する局部発振器の周波数誤差に起因して生じるキャリア周波数のオフセットの影響を受けることなく、安定にタイミング抽出が可能である。また、最終的に f_s の周波数成分を抽出することから、デジタル信号処理では、サンプリング定理を満足するように、 $2f_s$ を越えるサンプリング周波数で動作する必要があつて、通常では、干渉を避けるために、サンプリング周波数を $4f_s$ 以上としている。

更に、従来の他のタイミング成分抽出方法としては、例えば、特開平5-207082号公報(特許文献2)に記載されるように、シンボルのデータ変化に伴ってデジタル変調信号に存在する $f_s/2$ の周波数成分を抽出し、この抽出した周波数成分に対してベクトル処理と周波数シフト処理と2倍角処理とを施すことにより、サンプリング周波数を $2f_s$ としながら、処理可能なタイミング抽出方法がある。

また、従来の更に他のタイミング成分抽出方法としては、例えば、特開平7-226781号公報(特許文献3)に記載されるように、サンプリング周波数を $2f_s$ とし、デジタル信号を平均化した信号を非線形処理して、その1サンプル遅延信号との差分をとることにより、 f_s の周波数成分を抽出する方法が知られている。

解決課題

しかしながら、特許文献1記載の方法では、安定にタイミング抽出するために、 $4f_s$ のサンプリング周波数でデジタル信号処理する必要がある。このため、シンボルレートが高い周波数の場合には、ハードウェアの実現が困難であったり、消費電力が増大したりする。また、低シンボルレートであっても、DSPで処理を実現する場合には、単位時間当たりの処理量が増大する欠点がある。

また、特許文献2記載の方法では、ベクトル化処理を施すために、受信機側で利用する局部発振器の周波数誤差に起因して生じるキャリア周波数のオフセットの影響を受け、このため、キャリア周波数のオフセットがあると、正確なタイミング抽出が困難になる。

更に、特許文献3記載の抽出方法では、サンプリング周波数を $2f_s$ としているために、抽出信号はサンプリングの定理により干渉を起こし、安定したタイミング抽出を行うことができない。

発明の開示

本発明は、前記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、シンボルレート f_s が高い場合であっても、 $2f_s$ の低いサンプリング周波数でデジタル信号処理を行いながらも、ハードウェアの実現を容易にし、キャリア周波数オフセットの影響を受けずに、干渉のない安定したタイミング抽出方法を提供することにある。

前記目的を達成するために、本発明では、デジタル変調信号を復調して情報を再生する場合に、デジタル変調信号のシンボルレートを f_s として、I信号及びQ信号からなる

複素ベースバンド信号の $f_s/2$ の正及び負の周波数成分を、他の周波数成分と干渉を起こさないような周波数位置に周波数変換し、その後、この周波数変換されたI信号及びQ信号を少なくとも各々2乗して、その周波数位置の2倍の周波数成分を抽出する。

すなわち、本発明のタイミング抽出装置は、シンボルレートが f_s であるデジタル変調信号から、そのシンボルの判定タイミング成分を抽出するタイミング抽出装置であって、前記デジタル変調信号から得られるI信号及びQ信号から成る複素ベースバンド信号に含まれる前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分を、周波数位置 f_m ($0 < |f_m| < f_s/2$) に周波数変換する周波数変換手段と、前記周波数変換手段により周波数変換された後のI信号及びQ信号を各々少なくとも2乗する非線形処理手段と、前記非線形処理手段の出力信号から、前記周波数位置 f_m の2倍の周波数成分をタイミング信号として抽出する周波数抽出手段とを備えたことを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数位置 f_m は、 $|f_m| = f_s/2M$ (M は2以上の整数)であることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、 M は $M=2$ であって、前記周波数位置 f_m は、 $|f_m| = f_s/4$ であることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、 M は $M=4$ であって、前記周波数位置 f_m は、 $|f_m| = f_s/8$ であることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数変換手段は、前記非線形処理手段の出力信号に含まれる前記周波数位置 f_m の2倍の周波数成分に対して折り返し歪み成分となる周波数成分を、前記複素ベースバンド信号から予め除去するフィルタリング手段を備えることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数変換手段は、前記複素ベースバンド信号を周波数増大方向に周波数シフトする第1の周波数シフト手段と、逆に、

前記複素ベースバンド信号を周波数減少方向に周波数シフトする第2の周波数シフト手段とを備えることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数変換手段は、前記複素ベースバンド信号を前記 $f_s/2$ の周波数だけ周波数増大方向及び周波数減少方向に周波数シフトする周波数シフト手段を備えることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数変換手段は、前記複素ベースバンド信号に含まれる前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分を抽出するバンドパスフィルタリング手段を備えることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数変換手段は、前記周波数位置 f_m に周波数変換された前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分の値として、2回のサンプリング毎に真値よりも $\sqrt{2}$ 倍された値を演算する数値演算手段を有することを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記非線形処理手段は、前記周波数変換手段により周波数変換された後のI信号及びQ信号を各々2乗する2個の乗算手段と、前記乗算手段により2乗されたI信号及びQ信号を加算する加算器と、前記加算器の出力を $1/2$ 倍するビットシフト手段と、前記加算器の出力と前記ビットシフト手段の出力との何れか一方を選択する選択手段とを備えることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数抽出手段は、前記周波数位置 f_m が、 $|f_m| = f_s / (2^L \times L)$ (L は1以上の整数)であるとき、 L 回に1回の割合で前記タイミング信号を出力することを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記第1及び第2の周波数シフト手段は、前記周波数位置 f_m に存在する干渉成分を予め除去するフィルタリング手段を備えることを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出装置において、前記周波数変換手段は、前記第1及び第2の周波数シフト手段の出力を複素加算することを特徴とする。

本発明のタイミング抽出方法は、シンボルレートが f_s であるデジタル変調信号から、そのシンボルの判定タイミング成分を抽出するタイミング抽出方法であって、前記デジタル変調信号から得られるI信号及びQ信号から成る複素ベースバンド信号に含まれる前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分を、周波数位置 f_m ($0 < |f_m| < f_s/2$) に周波数変換し、前記周波数変換された後のI信号及びQ信号を各々少なくとも2乗し、前記2乗されたI信号及びQ信号を加算し、その後、前記加算された信号から、前記周波数位置 f_m の2倍の周波数成分をタイミング信号として抽出することを特徴とする。

本発明は、前記タイミング抽出方法において、前記周波数位置 f_m は、 $|f_m| = f_s/2M$ (M は2以上の整数)であることを特徴とする。

本発明の復調装置は、デジタル変調信号を受信するアンテナと、前記アンテナにより受信されたデジタル変調信号を直交検波して、I信号とQ信号とから成る複素ベースバンド信号を得る準同期検波手段と、前記準同期検波手段により得られた複素ベースバンド信号をアナログ値からデジタル値に変換するAD変換手段と、前記タイミング抽出装置とを備え、前記タイミング抽出装置からのタイミング信号に基づいて、前記AD変換手段により得られるデジタル値の複素ベースバンド信号を、 $2f_s$ のサンプリング周波数でサンプリングした復調データとすることを特徴とする。

以上により、本発明では、 $2f_s$ のサンプリング周波数であっても、複素ベースバンド信号の $f_s/2$ の正及び負の周波数成分を周波数変換した周波数位置 f_m が、シンボルレート f_s の $1/2$ 値よりも小さい、すなわち、 $2f_m$ が f_s よりも小さいので、サンプリング定理上、この周波数位置 f_m での $f_s/2$ の正及び負の周波数成分は折り返し歪み成分と干渉を起こすことないと共に、低消費電力化が可能である。しかも、2乗処理という非線形処理により、 f_s の周波数成分を抽出するので、キャリア周波数のオフセットの影響を受け

ることがなく、安定なタイミング抽出ができる。

特に、本発明では、周波数演算手段での周波数変換で行われる複素乗算を、非線形処理手段のビットシフト手段と選択手段とにより代行することができるので、回路規模を小さくできる。

更に、本発明では、タイミング抽出装置はタイミング信号をL回に1回の割合で出力すれば良いので、後段に用いられるタイミング誤差検出器やループフィルタの単位時間当りの演算量が大きく削減される。

図面の簡単な説明

図1は本発明の第1の実施の形態とするタイミング抽出方法を採用した復調装置の構成を示すブロック図である。

図2は第1の実施の形態に用いられるタイミング抽出部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図3は第1の実施の形態に用いられる周波数変換部の動作原理を説明するための周波数特性図を示し、同図(a)はレート変換後の複素ベースバンド信号のスペクトルを示す図、同図(b)は $\pm f_s/2$ 周波数成分を $\pm f_s/4$ 周波数位置に周波数変換した図、同図(c)は $\pm f_s/4$ 周波数成分が直流成分と $\pm f_s/2$ 周波数成分とに変換された様子を示す図である。

図4は第1の実施の形態に用いられる周波数変換部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図5は第1の実施の形態に用いられる周波数変換部の動作を説明するための周波数特性図を示し、同図(a)は複素ベースバンド信号の $-f_s/2$ 周波数成分を $-f_s/4$ 周波数位置に周波数変換した図、同図(b)は $+f_s/2$ 周波数成分を $-f_s/4$ 周波数位置に周波数変換した図、同図(c)は第1の複素フィルタの周波数特性を示す図、同図(d)は第2の複素フィルタの周波数特性を示す図である。

図6は第1の実施の形態に用いられる $\pm f_s/4$ シフト部の具体的な構成例を示すブ

ロック図である。

図7は第1の実施の形態に用いられる複素フィルタの具体的な構成例を示すブロック図である。

図8はタイミング信号とサンプル点の関係を表した波形図を示し、同図(a)はサンプリングタイミングが遅い場合を示す図、同図(b)はサンプリングタイミングが早い場合を示す図である。

図9は第2の実施の形態に用いられる周波数変換部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図10は第2の実施の形態に用いられる周波数変換部の動作を説明するための周波数特性図を示し、同図(a)は複素ベースバンド信号の $-f_s/2$ 周波数成分を0周波数位置に周波数変換した図、同図(b)は $+f_s/2$ 周波数成分を0周波数位置に周波数変換した図、同図(c)はLPFの周波数特性を示す図、同図(d)はLPFの他の周波数特性を示す図である。

図11は第3の実施の形態に用いられる周波数変換部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図12は第4の実施の形態に用いられるタイミング抽出部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図13は第4の実施の形態に用いられる周波数変換部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図14は第5の実施の形態に用いられるタイミング抽出部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図15は第5の実施の形態に用いられる周波数変換部の具体的な構成例を示すブロック図である。

図16は第5の実施の形態に用いられるタイミング抽出部のタイミング出力信号とサンプル点の関係を表した波形図である。

図17はタイミング誤差検出器の具体的な誤差関数例を示す入出力特性図である。

図18は第6の実施の形態に用いられる電圧制御発振器を用いた復調装置の全体構成を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。

(第1の実施の形態)

図1は、本発明の第1の実施の形態であるタイミング抽出方法を採用したQPSK (Quadrature PSK) 信号やQAM信号等のデジタル変調信号を復調する復調装置の構成を示すブロック図である。

まず、この復調装置について説明する。図1において、デジタル変調信号はアンテナ101で受信される。ダウンコンバータ102は、アンテナ101での受信信号を所望の中間周波数帯に周波数変換して、出力する。

準同期検波器(準同期検波手段)103は、局部発振器104の固定発振周波数で直交検波し、同相成分と直交成分との両信号を出力する。ローパスフィルタ(LPF)105、106は、前記準同期検波器103からの同相成分と直交成分から成る複素ベースバンド信号から高調波成分を除去して、出力する。AD変換器(AD変換手段)107、108は、シンボルレート f_s の2倍を上回るクロック信号を用いて前記LPF105、106からの複素ベースバンド信号をサンプリングし、複素ベースバンド信号をアナログ値からデジタル値に変換する。

更に、レート変換器109は、後述するタイミング制御部110が出力するタイミング制御信号110aに基づいて前記AD変換器107、108からのデジタル値の複素ベースバンド信号をレート変換し、 $2f_s$ のサンプリングレートで出力する。

デジタルフィルタ(RX-FIL)111、112は、前記レート変換器109でレート変換した信号を入力し、デジタルデータ伝送におけるシンボル間干渉を防止するようにスペクトル整形し、出力する。波形等化器113は、伝送路で生じた反射等によるゴーストを波形等化して、出力する。同期検波器114は、キャリア周波数オフセットを補正し、復調データを出力する。

加えて、タイミング制御部110は、レート変換器109でレート変換後の $2f_s$ でサンプリングした同相信号(I)と直交信号(Q)からなる複素ベースバンド信号を入力し、タイミング制御信号110aをレート変換器109に出力しており、レート変換部109を含めてフィードバックループを形成している。このタイミング制御部110は、タイミング抽出部20と、タイミング誤差検出部21と、ループフィルタ22とから構成されている。

前記タイミング抽出部(タイミング抽出装置)20はレート変換部109が出力する複素ベースバンド信号からシンボルの判定タイミング成分を抽出し、タイミング誤差検出器21に出力する。

前記タイミング抽出部20の具体的な構成例を図2に示す。タイミング抽出部20は、周波数変換部30と、2個の乗算器(乗算手段)31、32と、加算器(加算手段)33と、バンドパスフィルタ(BPF)34とから構成される。

ここで、図3(a)及び図3(b)を参照して周波数変換部(周波数変換手段)30の動作の具体例を簡単に説明する。図3(a)に、レート変換後の複素ベースバンド信号のスペクトルを示す。同図(a)において、破線はデジタル変調信号のスペクトルを示し、実線はデジタル変調信号がシンボルレート f_s でデータが変化することに伴って存在する $\pm f_s/2$ の周波数成分を示す。

周波数変換部30は、レート変換部109からの複素ベースバンド信号を入力し、 $\pm f_s/2$ の周波数成分を、他の周波数領域の周波数成分と干渉が起こらないように、図3(b)に示す $\pm f_s/4$ に周波数変換する。

複素ベースバンド信号を構成するI信号及びQ信号は、各々、2個の乗算器31、32及び加算器33により構成される非線形処理部(非線形処理手段)40により2乗処理(非線形処理)される。つまり、I信号及びQ信号は各々乗算器31、32で2乗され、その各2乗結果を加算器33で加算する非線型処理が施される。ここで、 $\pm f_s/4$ の周波数成分は非線型処理により、図3(c)に示すように、直流成分と $\pm f_s/2$ の周波数成分に変換される。BPF34は図3(c)に破線で示すような通過中心周波数が $\pm f_s/2$ の周波数特性を有するものであり、非線型処理した信号を入力して、 $\pm f_s/2$ の周波数成分を抽出し、タイミング信号として出力する。

以上の操作により、タイミング信号として抽出した $\pm f_s/2$ の周波数成分は、サンプリング周波数 $2f_s$ において、 $-f_s$ よりも大きく且つ $+f_s$ よりも小さい値であるので、非線形処理により自身の折り返し歪み成分の影響を受けることなく抽出される。

次に、周波数変換部30の具体的な構成例を図4に示す。周波数変換部30は、 $+f_s/4$ シフト部301と、 $-f_s/4$ シフト部302と、第1及び第2の複素フィルタ(フィルタリング手段)303、304と、複素加算器305とから構成される。

ここで、図5を参照して、周波数変換部30の動作について説明する。複素ベースバンド信号は、 $+f_s/4$ シフト部301と $-f_s/4$ シフト部302とに入力される。 $+f_s/4$ シフト部301は、複素ベースバンド信号を $+f_s/4$ 周波数だけシフトし、図3(a)に示す複素ベースバンド信号の $-f_s/2$ の周波数成分を図5(a)に示すように $-f_s/4$ の周波数位置に周波数変換し、第1の複素フィルタ303に供給する。

前記 $+f_s/4$ シフト部301の内部構成は、例えば、図6に示される。同図において、 $+f_s/4$ シフト部301は、複素乗算器3011と、サイン/コサイン信号発生器3012とから構成される。サイン/コサイン信号発生器3012は、サンプリングクロック周波数 $2f_s$ でI軸、Q軸からなる複素平面においてサンプリング毎に $\pi/4$ 位相だけ回転する回転ベクトルを出力する。すなわち、 $(I, Q) = (1, 0), (1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2}), (0, 1), (-1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2}), (-1, 0), (-1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2}), (0, -1), (1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ を取るI信号及びQ信号を順次繰り返し複素乗算器3011に供給する。複素乗算器3011は、複素ベースバンド信号とサイン/コサイン発生器3012の出力信号とを複素乗算する。これにより、 $+f_s/4$ だけの周波数シフトを実現することができる。

一方、 $-f_s/4$ シフト部302は、複素ベースバンド信号を $-f_s/4$ 周波数だけシフトし、複素ベースバンド信号の $+f_s/2$ の周波数成分を図5(b)に示すように $+f_s/4$ の周波数位置に周波数変換して、第2の複素フィルタ304に供給する。 $-f_s/4$ シフト部302の内部構成は、同様に図6に示した構成となり、サイン/コサイン信号発生器3012の

データ発生方法としては、I軸、Q軸からなる複素平面においてサンプリング毎に $-\pi/4$ 位相だけ回転する回転ベクトルを出力する。すなわち、 $(I, Q) = (1, 0), (1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2}), (0, -1), (-1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2}), (-1, 0), (-1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2}), (0, 1), (1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ を取るI信号及び、Q信号を順次繰り返し複素乗算器301に供給することにより、 $-fs/4$ だけの周波数シフトを実現することができる。

図4において、第1の複素フィルタ303は、少なくとも $-fs/4$ の周波数を通過させ、第2の複素フィルタ304の出力である $+fs/4$ の周波数成分と周波数的に干渉しないように $+fs/4$ 周波数を阻止し、後段の非線型処理後の $\pm fs/2$ の周波数の折り返し歪成分となる $\pm 3fs/4$ 周波数を阻止する周波数特性を有しており、この特性に従ってフィルタリングされた複素ベースバンド信号を複素加算器305に供給する。このフィルタリング操作は、周波数変換部30に入力される複素ベースバンドの周波数成分では、 $-fs/2$ 周波数を通過させ、0周波数を阻止し、 $+fs/2$ 及び $\pm fs$ の周波数を阻止する操作となる。

前記第1の複素フィルタ303の内部構成は、例えば、図7に示される。同図において、第1の複素フィルタ303は、3つの複素遅延器41、42、43と、4つの複素演算器44、45、46、47と、複素加算器48からなる構成をとる。複素遅延器41～43は、サンプリングクロック周波数 $2fs$ に従って複素ベースバンド信号を遅延させる。複素演算器44～47は、複素ベースバンド信号と複素タップ係数 $C_{im}, C_{qm} (m=0, 1, 2, 3)$ とについて複素乗算に相当する演算を行う。複素加算器305は、複素演算器44～47の総和をとって、出力する。複素タップ係数としては、 $(C_{i0}, C_{q0}) = (1, 0), (C_{i1}, C_{q1}) = (1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2}), (C_{i2}, C_{q2}) = (0, -1), (C_{i3}, C_{q3}) = (-1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ を与えることにより、図5(c)の周波数特性を実現できる。

次に、図4の第2の複素フィルタ304は、少なくとも $+fs/4$ の周波数を通過させ、第1の複素フィルタ303の出力である $-fs/4$ の周波数成分と周波数的に干渉しないように $-fs/4$ 周波数を阻止し、後段の非線型処理後の $\pm fs/2$ の周波数の折り返し歪成分となる $\pm 3fs/4$ の周波数を阻止する周波数特性を有しており、この特性に従ってフィルタリングされた複素ベースバンド信号を複素加算器305に供給する。このフィルタリ

ング操作は、周波数変換部30に入力される複素ベースバンド信号の周波数成分では、 $+f_s/2$ 周波数を通過させ、0周波数を阻止し、 $-f_s/2$ 及び $\pm f_s$ の周波数を阻止する操作である。例えば、第2の複素フィルタ304は、図7に示す内部構成を有し、タップ係数としては、 $(C_{i0}, C_{q0}) = (1, 0)$ 、 $(C_{i1}, C_{q1}) = (1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ 、 $(C_{i2}, C_{q2}) = (0, 1)$ 、 $(C_{i3}, C_{q3}) = (-1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ を与えることにより、図5(d)の周波数特性を実現できる。

図4の複素加算器305は、前述の処理により得られた複素ベースバンド信号を複素加算する。これにより、その複素加算出力はデジタル変調波の $\pm f_s/2$ の周波数成分が、他の周波数領域の周波数成分と干渉が起こらないように、 $\pm f_s/4$ の周波数位置に周波数変換された複素ベースバンド信号となる。

次に、図2に戻って、非線形処理部40の乗算器31、32は、図4の周波数変換部30の複素加算器305から出力されるI信号とQ信号とからなる複素ベースバンド信号の前記I信号及びQ信号の各々を2乗し、出力する。加算器33は、その各2乗後の信号を加算し、BPF34に供給する。

前記非線形処理部40での2乗和処理は、従来でも用いられている非線形処理方法であって、シンボル変化に伴う周波数成分の0度と180度との位相不確定性とキャリア周波数のオフセットの影響をキャンセルする。加えて、本実施の形態では、サンプリング周波数及び時間ずれに伴い、図4の周波数変換部30の $+f_s/4$ シフト部301及び $-f_s/4$ シフト部302で生じる周波数オフセットをキャンセルする。

図2において、BPF34は、前記非線形処理部40の加算器33からの加算結果信号のうち $\pm f_s/2$ の周波数成分を抽出し、この抽出した周波数成分をタイミング信号として、図1に示したタイミング誤差検出器21へ出力する。

図8は、タイミング波形とサンプル点との関係を表した波形図を示す。同図(a)及び同図(b)において、曲線Aは正しいサンプリングタイミングの場合を、同図(a)の曲線Bはサンプリングタイミングが遅い場合を、同図(b)の曲線Cはサンプリングタイミングが早い場合を各々示す。タイミング誤差検出器21は、例えばX点とY点の大きさから $\phi = \tan$

$\tan^{-1}(X/Y)$ を算出することにより、サンプルポイントのタイミングずれを検出し、タイミング誤差信号としてループフィルタ22に出力する。

図17にタイミング誤差検出器21の誤差関数を示す。同図において、実線は、タイミング信号の入力位相と $\phi = \tan^{-1}(X/Y)$ との関係を示す。同図から判るように、入力位相が0、 $+\pi$ の時、0交差ポイントが存在する。この入力位相が $+\pi$ 又は $-\pi$ のポイントに収束すると、擬似同期が発生する。この擬似同期発生を回避するために、タイミング誤差検出器21は、例えば、擬似同期回避手段として4サンプルをカウントするカウンタを有し、サンプリングクロック周波数 $2f_s$ の4サンプルを1周期として解析し、入力位相が $\pi/2 \sim \pi$ と $-\pi/2 \sim -\pi$ との時、破線又は1点鎖線で示すような特性にする。尚、4サンプル中の基準ポイントとしては、図4に示した周波数変換部30の $+f_s/4$ シフト部301及び $-f_s/4$ シフト部302内で使用する回転ベクトル($0 \sim 2\pi$)の初期位相を0に揃え、その回転ベクトルが0又は π の時のデータポイントを基準ポイントとすることが、望ましい。

また、他の回避方法として、例えば、BER測定器やC/N検出器等の信号品質検出手段を用い、タイミング制御ループが収束した後、信号品質が悪い場合は、擬似同期と判定し、レート変換部109の出力信号を制御して、タイミング信号を π 又は $-\pi$ 位相シフトするようにする方法もある。

図1のタイミング制御部110において、ループフィルタ22は、タイミング誤差検出器21からのタイミング誤差信号を平滑化して、タイミング制御信号110aとしてレート変換部109へ出力する。

以上のように、本実施の形態の構成によれば、サンプリングクロック周波数 $2f_s$ でキャリア周波数オフセットの影響を受けることなく安定にタイミング抽出が可能である。

尚、本実施の形態では、周波数変換部30の入力である複素ベースバンド信号の $+f_s/2$ の周波数成分を $+f_s/4$ 周波数位置へ周波数変換し、 $-f_s/2$ の周波数成分を $-f_s/4$ 周波数位置へ周波数変換したが、本発明はこれに限定されず、その他、例えば、周波数成分的に干渉が起らないように、 $+f_s/2$ の周波数成分を $-f_s/4$ 周波数位

置へ周波数変換し、 $-fs/2$ の周波数成分を $+fs/4$ 周波数位置へと逆の周波数配置に周波数変換しても、同様の効果が得られることは言うまでもない。

(第2の実施の形態)

次に、本発明の第2の実施の形態について図9及び図10を参照して説明する。

本実施の形態の全体構成は、図1及び図2に示したものと同様であるが、周波数変換部30の構成が異なる。図9は本実施の形態の周波数変換部30の構成を示すものである。尚、図9において、図4と同一部分には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる部分を中心に説明する。

図9において、複素ベースバンド信号は、 $+fs/2$ だけ周波数増大方向に周波数シフトする $+fs/2$ シフト部(第1の周波数シフト手段)306と、逆に $-fs/2$ だけ周波数減少方向に周波数シフトする $-fs/2$ シフト部(第2の周波数シフト手段)307とに入力される。前記 $+fs/2$ シフト部306は、複素ベースバンド信号を $+fs/2$ 周波数だけシフトし、図3(a)に示す複素ベースバンド信号の $-fs/2$ の周波数成分を図10(a)に示すように0周波数の位置に周波数変換して、LPF308に供給する。一方、 $-fs/2$ シフト部307は、複素ベースバンド信号を $-fs/2$ 周波数だけシフトし、複素ベースバンド信号の $+fs/2$ の周波数成分を図10(b)に示すように0周波数の位置に周波数変換して、LPF309に供給する。

LPF308及びLPF309は、図10(c)に示すように、0周波数を通過させ、 $\pm fs/2$ 及び $\pm fs$ の各周波数成分を阻止する周波数特性を有するフィルタであり、この特性に従ってフィルタリングされた複素ベースバンド信号を各々 $-fs/4$ シフト部(第2の周波数シフト手段)310及び $+fs/4$ シフト部(第1の周波数シフト手段)311に供給する。

前記LPF308及びLPF309は、周波数特性が同じであるので、同一の構成となる。また、各々のLPF308、309の入力であるI信号及びQ信号は、LPFの周波数特性が0周波数を中心として正負対称であるので、各々、独立且つ同一のフィルタリング処理が可能である。

一方のLPF308のフィルタリング操作は、周波数変換部30に入力される複素ベースバンド信号の周波数成分では、 $-f_s/2$ の周波数を通過させ、0周波数、 $+f_s/2$ 及び $\pm f_s$ の各周波数を阻止する操作である。他方のLPF309のフィルタリング操作は、周波数変換部30に入力される複素ベースバンド信号の周波数成分では、 $+f_s/2$ の周波数を通過させ、0周波数、 $-f_s/2$ 及び $\pm f_s$ の周波数を阻止する操作である。

更に、図9において、 $-f_s/4$ シフト部310は、0周波数成分を $-f_s/4$ の周波数位置にシフトし、 f_s のヌル周波数成分を $3f_s/4$ の周波数位置にシフトし、 $f_s/2$ のヌル周波数成分を $f_s/4$ の周波数位置にシフトする。一方、 $+f_s/4$ シフト部311は、0周波数成分を $f_s/4$ の周波数位置にシフトし、 $-f_s$ のヌル周波数成分を $-3f_s/4$ の周波数位置にシフトし、 $-f_s/2$ のヌル周波数成分を $-f_s/4$ の周波数位置にシフトする。

複素加算器305は、前記 $-f_s/4$ シフト部310及び $+f_s/4$ シフト部311の出力を複素加算する。その結果、その複素加算出力はデジタル変調波の $\pm f_s/2$ の周波数成分が、他の周波数領域の周波数成分と干渉が起これないように $\pm f_s/4$ の周波数位置に周波数変換され、後段の非線形処理により $\pm f_s/4$ の折り返し歪み成分となる $\pm 3f_s/4$ をヌル周波数成分とする複素ベースバンド信号となる。

以上のように、本実施の形態によれば、2個のLPF308及びLPF309は、同一の構成となり、加えて、各々のLPF308、309のI側とQ側とが、各々、独立且つ同一のフィルタリング処理構成となるので、回路が簡単になる。その他の具体的な効果は第1の実施の形態と同様である。

尚、第1の実施の形態と同様に、周波数変換部30の入力である複素ベースバンド信号の $\pm f_s/2$ の周波数成分を周波数成分的に干渉が起これないように、 $\pm f_s/4$ の逆の周波数配置に周波数変換しても、同様の効果が得られることは勿論である。

(第3の実施の形態)

次に、本発明の第3の実施の形態について図10及び図11を参照して説明する。

本実施の形態の全体構成は図1及び図2に示した構成と同様であるが、周波数変換部30の構成が異なる。図11は本実施の形態の周波数変換部30の構成を示す。尚、図11において、図4及び図9と同一部分には同一符号を付して、その説明を省略する。

図11において、複素ベースバンド信号はBPF(バンドパスフィルタリング手段)312に入力される。このBPF312は、通過中心周波数が $\pm f_s/2$ の周波数特性を有しており、複素ベースバンド信号を入力し、 $\pm f_s/2$ の周波数成分を抽出して、 $+f_s/2$ シフト部306及び $-f_s/2$ シフト部307に出力する。

前記 $+f_s/2$ シフト部306は、複素ベースバンド信号を $+f_s/2$ だけ周波数シフトして、 $-f_s/2$ の周波数成分を0周波数の位置に周波数変換し、 $+f_s/2$ の周波数を f_s 周波数の位置に周波数変換して、LPF313に出力する。一方、 $-f_s/2$ シフト部307は、 $-f_s/2$ だけ周波数シフトして、 $+f_s/2$ の周波数成分を0周波数の位置に周波数変換し、 $-f_s/2$ の周波数成分を $-f_s$ 周波数の位置に周波数変換して、LPF309に出力する。

LPF313及びLPF314は、図10(d)に示すように0周波数を通過させ、 $\pm f_s$ の周波数を阻止する周波数特性を有するフィルタであって、この特性に従ってフィルタリングされた複素ベースバンド信号を、各々、 $-f_s/4$ シフト部310及び $+f_s/4$ シフト部311に出力する。

$-f_s/4$ シフト部310は、0周波数成分を $-f_s/4$ の周波数位置にシフトし、 f_s のヌル周波数成分を $3f_s/4$ の周波数位置にシフトする。一方、 $+f_s/4$ シフト部311は、0周波数成分を $f_s/4$ の周波数位置にシフトし、 $-f_s$ のヌル周波数成分を $-3f_s/4$ の周波数位置にシフトする。

複素加算器305は、前記 $-f_s/4$ シフト部310及び $f_s/4$ シフト部311の両出力を複素加算する。その結果、この複素加算出力は、デジタル変調波の $\pm f_s/2$ の周波数成分が他の周波数領域の周波数成分と干渉が起こらないように $\pm f_s/4$ の周波数位置に周波数変換され、後段の非線形処理により $\pm f_s/4$ の折り返し歪み成分となる $\pm 3f_s/4$ をヌル周波数成分とする複素ベースバンド信号となる。

以上のように、本実施の形態によれば、BPF312により、 $\pm f_s/2$ の周波数成分を抽

出るので、不要な周波数信号成分を予め除去できて、より安定にタイミング抽出することが可能である。その他の具体的な効果は第1の実施の形態と同様である。

尚、2個のLPF313、314の周波数特性を、図10(c)の周波数特性を持つLPF308、309に置き換えることで、サンプリング定理の折り返し歪み成分を更に除去でき、更に安定にタイミング抽出できることは言うまでもない。

また、第1の実施の形態と同様に、周波数変換部30の入力である複素ベースバンド信号の $\pm f_s/2$ の周波数成分を周波数成分的に干渉が起こらないように、 $\pm f_s/4$ の逆の周波数配置に周波数変換しても、同様の効果が得られることは言うまでもない。

(第4の実施の形態)

次に、本発明の第4の実施の形態について図12及び図13を参照して説明する。

本実施の形態の全体構成は図1に示したものと同様であるが、図2のタイミング抽出部20の構成が異なる。図12は本実施の形態のタイミング抽出部20の構成を示すものである。

図12において、タイミング抽出部20は、既述した第1～第3の実施の形態と入出力信号としては同じであるが、周波数変換部30の代わりに、周波数変換部35を使用することと、非線形処理部40'内において、加算器33の後段に、ビットシフト器(ビットシフト手段)36と、セクタ(選択手段)37とが挿入されている点異なる。尚、図12において、図2と同一部分には同一符号を付して、その説明を省略する。

図13は、周波数変換部35の構成を示す。同図において、周波数変換部35は、図11に示した周波数変換部30の構成と若干異なる。図13において、図11と同一部分には同一符号を付して示し、ここでは異なる部分について説明する。

図13において、第1の数値演算器(数値演算手段)315は、LPF313から供給される複素ベースバンド信号に、I軸及びQ軸からなる複素平面において、 $(I, Q) = (1, 0)$ 、 $(1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ 、 $(0, -1)$ 、 $(-1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ 、 $(-1, 0)$ 、 $(-1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ を取るI信号及びQ信号を順次繰り返し複素

乗算した数値に対し、更に、I値及びQ値の $1/\sqrt{2}$ の部分にのみ $\sqrt{2}$ を掛けた値を複素乗算する。すなわち、複素平面において、 $(I, Q) = (1, 0)$ 、 $(1, -1)$ 、 $(0, -1)$ 、 $(-1, -1)$ 、 $(-1, 0)$ 、 $(-1, 1)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 1)$ を取るI信号及びQ信号を順次繰り返し複素乗算する。

一方、第2の数値演算器(数値演算手段)316は、LPF314から供給される複素ベースバンド信号に、I軸及びQ軸からなる複素平面において、 $(I, Q) = (1, 0)$ 、 $(1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ 、 $(0, 1)$ 、 $(-1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2})$ 、 $(-1, 0)$ 、 $(-1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ 、 $(0, -1)$ 、 $(1/\sqrt{2}, -1/\sqrt{2})$ を取るI信号及びQ信号を順次繰り返し複素乗算することとは異なり、I値及びQ値の $1/\sqrt{2}$ の部分にのみ $\sqrt{2}$ を掛けた値を用いる。すなわち、複素平面において、 $(I, Q) = (1, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(-1, 1)$ 、 $(-1, 0)$ 、 $(-1, -1)$ 、 $(0, -1)$ 、 $(1, -1)$ を取るI信号及びQ信号を順次繰り返し複素乗算する。

図13の制御信号発生器317は、前記第1の数値演算器315及び第2の数値演算器316において $\sqrt{2}$ 倍した値の演算タイミングを合わせるために、使用する。例えば、制御信号発生器317は、 $A(n)$ を第1の数値演算器315の n サンプル時の複素乗算する値、 $B(n)$ を第2の数値演算器316の n サンプル時の複素乗算する値とすると、 $A(n) = (1, 0)$ 、 $A(n+1) = (1, -1)$ 、 $A(n+2) = (0, -1)$ 、 $A(n+3) = (-1, -1)$ 、 $A(n+4) = (-1, 0)$ 、 $A(n+5) = (-1, 1)$ 、 $A(n+6) = (0, 1)$ 、 $A(n+7) = (1, 1)$ となり、一方、 $B(n) = (1, 0)$ 、 $B(n+1) = (1, 1)$ 、 $B(n+2) = (0, 1)$ 、 $B(n+3) = (-1, 1)$ 、 $B(n+4) = (-1, 0)$ 、 $B(n+5) = (-1, -1)$ 、 $B(n+6) = (0, -1)$ 、 $B(n+7) = (1, -1)$ となる。

前記数値と複素ベースバンド信号との複素乗算は、複素乗算を使用せず、セクタ、符号反転、加算器等で実現できる。

$\sqrt{2}$ 倍した値は2乗すると、2となる。すなわち、周波数変換部35で $\sqrt{2}$ 倍した信号を2乗処理の後に $1/2$ 倍することにより、もとの信号となる。このことから、図12に示すように、非線形処理部40'においては、2乗処理後に信号をビットシフト器36で $1/2$ 倍し、ビットシフト器36の出力と加算器33の出力とを制御信号発生器317のタイミングに基づ

いて、 $\sqrt{2}$ 倍信号のタイミングでは、ビットシフト器36の出力信号を選択し、それ以外の信号のタイミングでは加算器33の出力を選択することにより、図2に示したタイミング抽出部20と同じ出力を得ることができる。

以上のように、本実施の形態によれば、2乗演算後に $1/2$ 倍した信号と、通常値の出力信号とを、制御信号に基づいて選択する構成をとることにより、複素乗算器が行う演算が加算器33、ビットシフト器36及びセクタ37だけで実現できるので、回路規模を小さくすることができる。

その他の具体的な効果は第1の実施の形態と同様である。尚、第1の実施の形態と同様に、周波数変換部35の入力である複素ベースバンド信号の $\pm f_s/2$ の周波数成分を周波数成分的に干渉が起こらないように、 $\pm f_s/4$ の逆の周波数配置に周波数変換しても、同様の効果が得られることは言うまでもない。

(第5の実施の形態)

次に、本発明の第5の実施の形態について図14及び図15を参照して説明する。

本実施の形態の全体構成は図1に示したものと同様であるが、図2のタイミング抽出部20の構成が異なる。図14は本実施の形態のタイミング抽出部20の構成を示すものである。

図14において、タイミング抽出部20は、先に示した第1の実施の形態の図2と入力信号としては同じであるが、周波数変換部30の代わりに周波数変換部38を使用することと、図12のBPF34の代わりに、通過中心周波数が $\pm f_s/4$ の周波数特性であるBPF39とを使用する点が異なる。尚、図14において、図2と同一部分には同一符号を付して、その説明を省略する。

図15は、前記周波数変換部38の構成を示すものである。この周波数変換部38は、図11に示した周波数変換部30の $-f_s/4$ シフト部310の代わりに、 $-f_s/8$ シフト部318を使用すると共に、 $+f_s/4$ シフト部311の代わりに $+f_s/8$ シフト部319を使用す

る点で異なる。図15において、図11と同一部分には、同一符号を付して示し、ここでは異なる部分について説明する。

図15において、 $-f_s/8$ シフト部318は、0周波数位置にあるシンボルの変化に伴って発生する周波数成分を $-f_s/8$ の周波数位置にシフトする。一方、 $+f_s/8$ シフト部319は、0周波数位置にあるシンボルの変化に伴って発生する周波数成分を $f_s/8$ の周波数位置にシフトする。

複素加算器305は、前記 $-f_s/8$ シフト部318と前記 $+f_s/8$ シフト部319との両出力を複素加算し、 $\pm f_s/8$ の周波数成分が干渉を起こすことなく後段の非線形処理により $\pm f_s/4$ の折り返し歪み成分となる $\pm 7f_s/8$ をヌル周波数成分とする複素ベースバンド信号を出力する。

更に、図14において、2個の乗算器31、32は、前記周波数変換部38の複素加算器305から供給されるI信号及びQ信号からなる複素ベースバンド信号の前記I信号及びQ信号を共に各々2乗し、加算器33は前記各2乗後の信号を加算して、非線形処理を行う。この非線形処理により、入力信号の $\pm f_s/8$ の周波数成分は、0周波数と、 $\pm f_s/4$ の周波数位置とに周波数変換される。BPF39は、この $\pm f_s/4$ の周波数成分を抽出し、タイミング信号として出力する。

図16は、タイミング信号とサンプル間隔との関係を表した波形を示す。前記第1～第4の実施の形態では、図8において1周期の正弦波に対し4サンプルで表現していたが、図16に示すように、1周期の正弦波に対して8点のサンプリング点で表現される。従って、例えば、図中黒丸印の信号を間引いた1サンプルデータ間引き信号をタイミング信号として出力することにより、後段のタイミング誤差検出器22及びループフィルタ22はこの間引かれたタイミング信号を使用して動作すれば良く、時間単位の演算量を削減することが可能となる。

以上のように、本実施の形態によれば、BPF39の出力データを間引くことが可能となり、後段のタイミング誤差検出器22及びループフィルタ23の単位時間当りの演算量を削減することができる。その他の具体的な効果は第1の実施の形態と同様である。

尚、第1の実施の形態と同様に、周波数変換部38の入力である複素ベースバンド信号の $\pm f_s/2$ の周波数成分を周波数成分的に干渉が起こらないように $\pm f_s/8$ の逆の周波数配置に周波数変換しても、同様の効果が得られることは言うまでもない。

また、本実施の形態では、タイミング抽出部20に入力される複素ベースバンド信号の $\pm f_s/2$ の周波数を $\pm f_s/8$ に周波数変換し、非線形抽出処理後に $\pm f_s/4$ の周波数成分を抽出する例を示したが、本発明はこれに限定されず、 $\pm f_s/2M$ (M は3以上の整数)に周波数変換し、非線形処理後に、 $\pm f_s/M$ の周波数を抽出することによっても、第1の実施の形態と同様の効果が得られることは言うまでもないし、更には、このように整数値 M を用いることは必須ではなく、要は、複素ベースバンド信号に含まれる $\pm f_s/2$ の周波数成分を、周波数位置 f_m ($0 < |f_m| < f_s/2$)に周波数変換して、この $\pm f_s/2$ の周波数成分が他の周波数成分と干渉を起こすことがないようにすれば良い。

加えて、 $\pm f_s/(2^2 \times L)$ に周波数変換し、非線形処理後、 $\pm f_s/(2 \times L)$ (L は3以上の整数)を抽出し、 L 回に1回データをタイミング誤差検出器22へ出力することにより、後段のタイミング誤差検出器22及びループフィルタ23の演算量を更に削減することができる。

(第6の実施の形態)

続いて、本発明の第6の実施の形態について図18を参照して説明する。

図18は、本発明のタイミング抽出装置を含む復調装置の他の構成例を示す。同図の復調装置は、図1の復調装置とは異なり、図1のレート変換部109の代わりに、DA変換器115及び電圧制御クロック発振器116を用いて、AD変換器107、108とタイミング制御部110とDA変換器115と電圧制御クロック発振器116からなるフィードバックループを形成することにより、タイミング制御を行うようにした構成を持つ。

図18の復調装置について、図1と異なる部分について簡単に説明すると、AD変換器107、108は、電圧制御クロック発振器116から供給されるシンボルレート f_s の2倍のクロックでサンプリングし、複素ベースバンド信号をアナログ値からデジタル値に変換す

る。

タイミング制御部110は、前記複素ベースバンド信号を入力し、タイミング抽出部20においてタイミングを抽出し、タイミング誤差検出器21においてAD変換器107、108で生じたサンプルタイミングの誤差を検出し、ループフィルタ22においてタイミングの誤差を平滑化し、タイミング制御信号として出力する。DA変換器115は、前記ループフィルタ22からのタイミング制御信号をデジタル信号からアナログ信号に変換する。電圧制御クロック発振器116は、電圧値によりクロック発振周波数の制御が可能な構成を有し、前記DA変換器115からのタイミング制御信号を電圧値として入力し、このタイミング制御信号が安定する周波数のクロックをAD変換器107、108に供給する。

以上により、所望のサンプルタイミングで動作することが可能になり、安定した復調動作を実現することができる。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明のタイミング抽出装置及び方法によれば、デジタル変調信号からシンボルの判定タイミング成分を抽出するに際し、サンプリング周波数をシンボルレート f_s の2倍のサンプリング周波数としながら、折り返し歪み成分と干渉を起こすことなく、キャリア周波数のオフセットの影響を受けずに安定にタイミング成分の抽出が可能であるので、デジタル衛星TV放送やデジタルケーブルTV放送等で用いるデジタル変調方式の復調等の用途に適用して有用である。

請求の範囲

1.

シンボルレートが f_s であるデジタル変調信号から、そのシンボルの判定タイミング成分を抽出するタイミング抽出装置であって、

前記デジタル変調信号から得られるI信号及びQ信号から成る複素ベースバンド信号に含まれる前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分を、周波数位置 f_m ($0 < |f_m| < f_s/2$) に周波数変換する周波数変換手段と、

前記周波数変換手段により周波数変換された後のI信号及びQ信号を各々少なくとも2乗する非線形処理手段と、

前記非線形処理手段の出力信号から、前記周波数位置 f_m の2倍の周波数成分をタイミング信号として抽出する周波数抽出手段と

を備えたことを特徴とするタイミング抽出装置。

2.

請求項1記載のタイミング抽出装置において、

前記周波数位置 f_m は、

$|f_m| = f_s/2M$ (M は2以上の整数) である

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

3.

請求項2記載のタイミング抽出装置において、

M は $M=2$ であって、

前記周波数位置 f_m は、 $|f_m| = f_s/4$ である

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

4.

請求項2記載のタイミング抽出装置において、

M は $M=4$ であって、

前記周波数位置 f_m は、 $|f_m| = f_s/8$ である
ことを特徴とするタイミング抽出装置。

5.

請求項1又は2記載のタイミング抽出装置において、

前記周波数変換手段は、

前記非線形処理手段の出力信号に含まれる前記周波数位置 f_m の2倍の周波数成分に対して折り返し歪み成分となる周波数成分を、前記複素ベースバンド信号から予め除去するフィルタリング手段を備える

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

6.

請求項1記載のタイミング抽出装置において、

前記周波数変換手段は、

前記複素ベースバンド信号を周波数増大方向に周波数シフトする第1の周波数シフト手段と、

逆に、前記複素ベースバンド信号を周波数減少方向に周波数シフトする第2の周波数シフト手段とを備える

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

7.

請求項1、2又は6記載のタイミング抽出装置において、

前記周波数変換手段は、

前記複素ベースバンド信号を前記 $f_s/2$ の周波数だけ周波数増大方向及び周波数減少方向に周波数シフトする周波数シフト手段を備える

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

8.

請求項1記載のタイミング抽出装置において、

前記周波数変換手段は、
前記複素ベースバンド信号に含まれる前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分を
抽出するバンドパスフィルタリング手段を備える
ことを特徴とするタイミング抽出装置。

9.

請求項3記載のタイミング抽出装置において、
前記周波数変換手段は、
前記周波数位置 f_m に周波数変換された前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分
の値として、2回のサンプリング毎に真値よりも $\sqrt{2}$ 倍された値を演算する数値演算手段
を有する
ことを特徴とするタイミング抽出装置。

10.

請求項9記載のタイミング抽出装置において、
前記非線形処理手段は、
前記周波数変換手段により周波数変換された後のI信号及びQ信号を各々2乗する
2個の乗算手段と、
前記乗算手段により2乗されたI信号及びQ信号を加算する加算器と、
前記加算器の出力を $1/2$ 倍するビットシフト手段と、
前記加算器の出力と前記ビットシフト手段の出力との何れか一方を選択する選択手
段とを備える
ことを特徴とするタイミング抽出装置。

11.

請求項1又は2記載のタイミング抽出装置において、
前記周波数抽出手段は、
前記周波数位置 f_m が、 $|f_m| = f_s / (2^L \times L)$ (L は1以上の整数)であるとき、 L 回
に1回の割合で前記タイミング信号を出力する

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

12.

請求項6記載のタイミング抽出装置において、

前記第1及び第2の周波数シフト手段は、前記周波数位置 f_m に存在する干渉成分を予め除去するフィルタリング手段を備える

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

13.

請求項6記載のタイミング抽出装置において、

前記周波数変換手段は、前記第1及び第2の周波数シフト手段の出力を複素加算する

ことを特徴とするタイミング抽出装置。

14.

シンボルレートが f_s であるデジタル変調信号から、そのシンボルの判定タイミング成分を抽出するタイミング抽出方法であって、

前記デジタル変調信号から得られるI信号及びQ信号から成る複素ベースバンド信号に含まれる前記 f_s の $1/2$ 値の正及び負の周波数成分を、周波数位置 f_m ($0 < |f_m| < f_s/2$) に周波数変換し、

前記周波数変換された後のI信号及びQ信号を各々少なくとも2乗し、

前記2乗されたI信号及びQ信号を加算し、

その後、前記加算された信号から、前記周波数位置 f_m の2倍の周波数成分をタイミング信号として抽出する

ことを特徴とするタイミング抽出方法。

15.

請求項14記載のタイミング抽出方法において、

前記周波数位置 f_m は、

$|f_m| = f_s / 2M$ (M は2以上の整数)である
ことを特徴とするタイミング抽出方法。

16.

デジタル変調信号を受信するアンテナと、
前記アンテナにより受信されたデジタル変調信号を直交検波して、I信号とQ信号と
から成る複素ベースバンド信号を得る準同期検波手段と、
前記準同期検波手段により得られた複素ベースバンド信号をアナログ値からデジタル
値に変換するAD変換手段と、
前記請求項1記載のタイミング抽出装置とを備え、
前記タイミング抽出装置からのタイミング信号に基づいて、前記AD変換手段により得
られるデジタル値の複素ベースバンド信号を、 $2f_s$ のサンプリング周波数でサンプリング
した復調データとする
ことを特徴とする復調装置。

FIG. 1

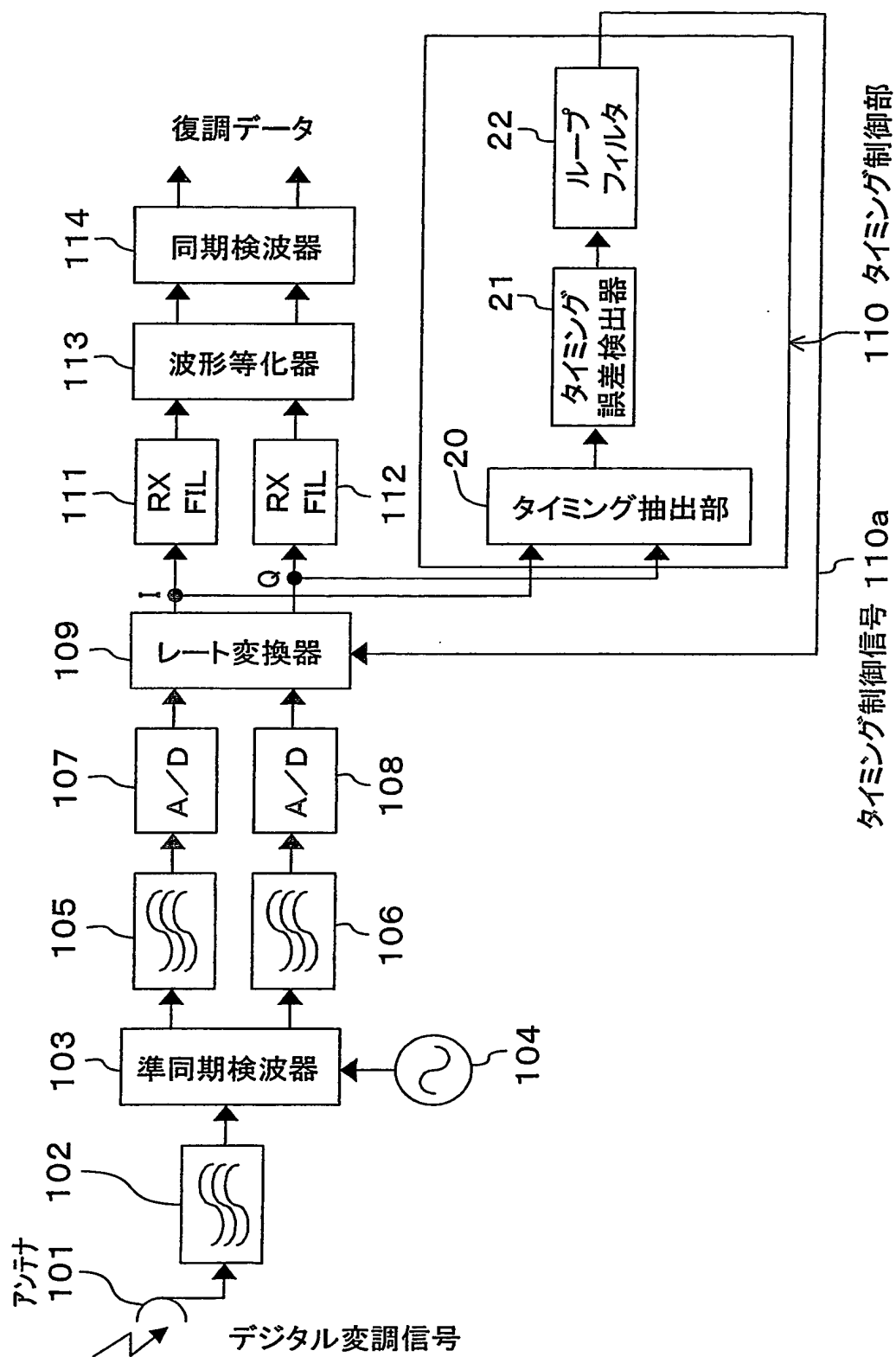


FIG. 2

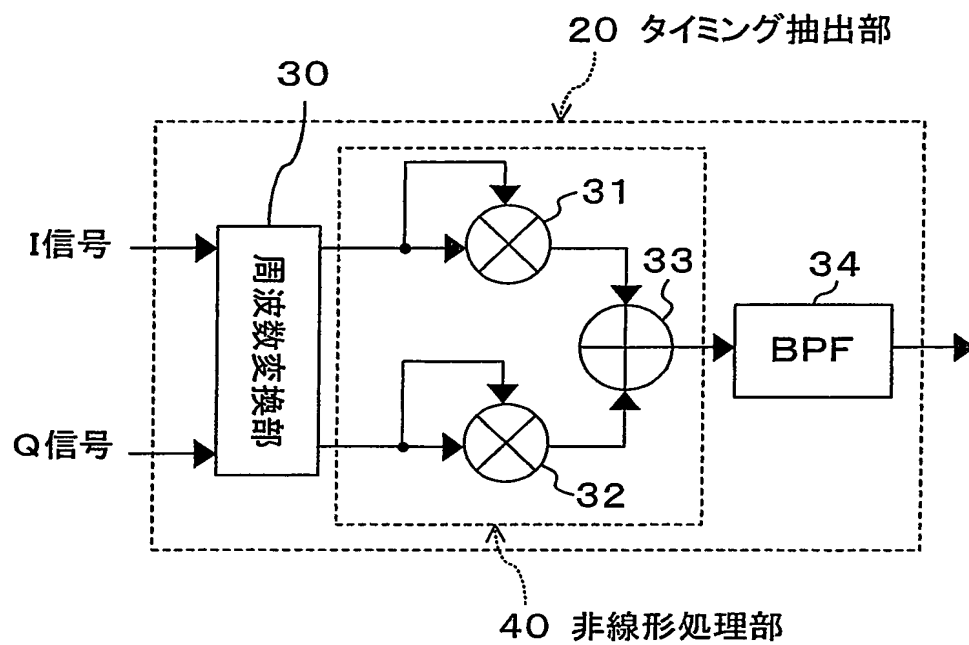


FIG. 3

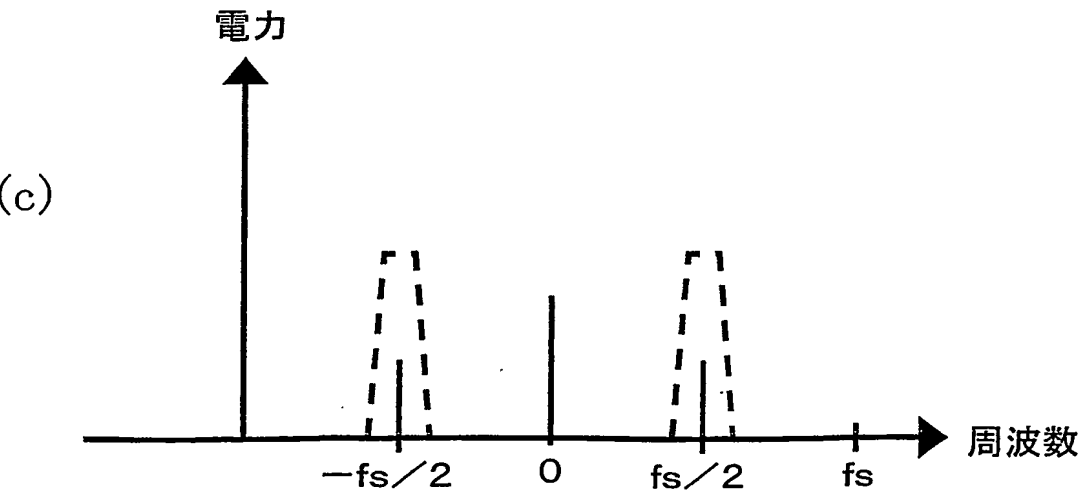
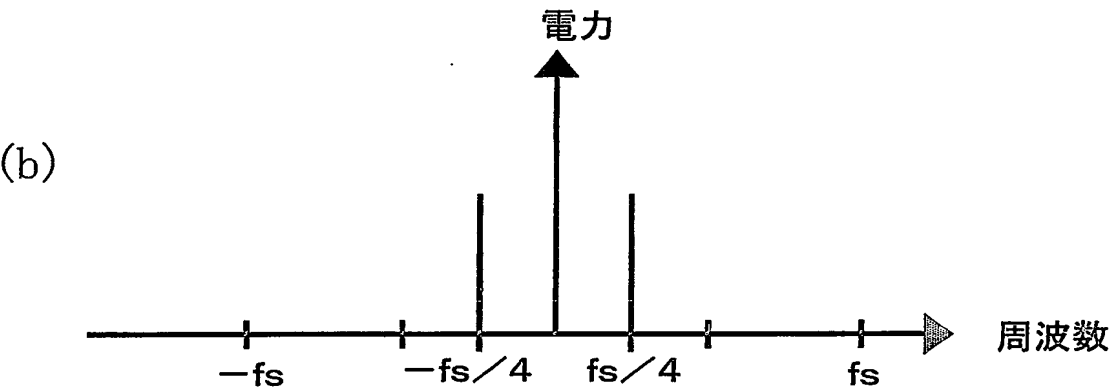
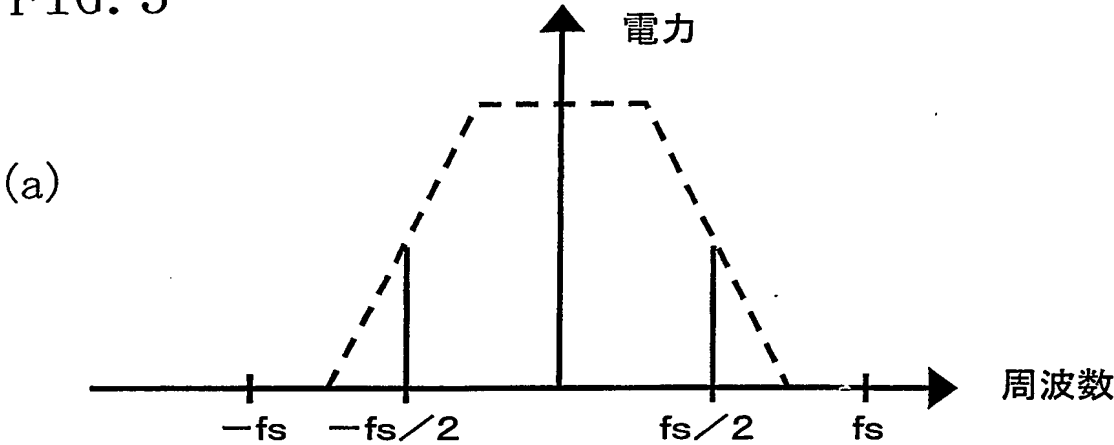


FIG. 4

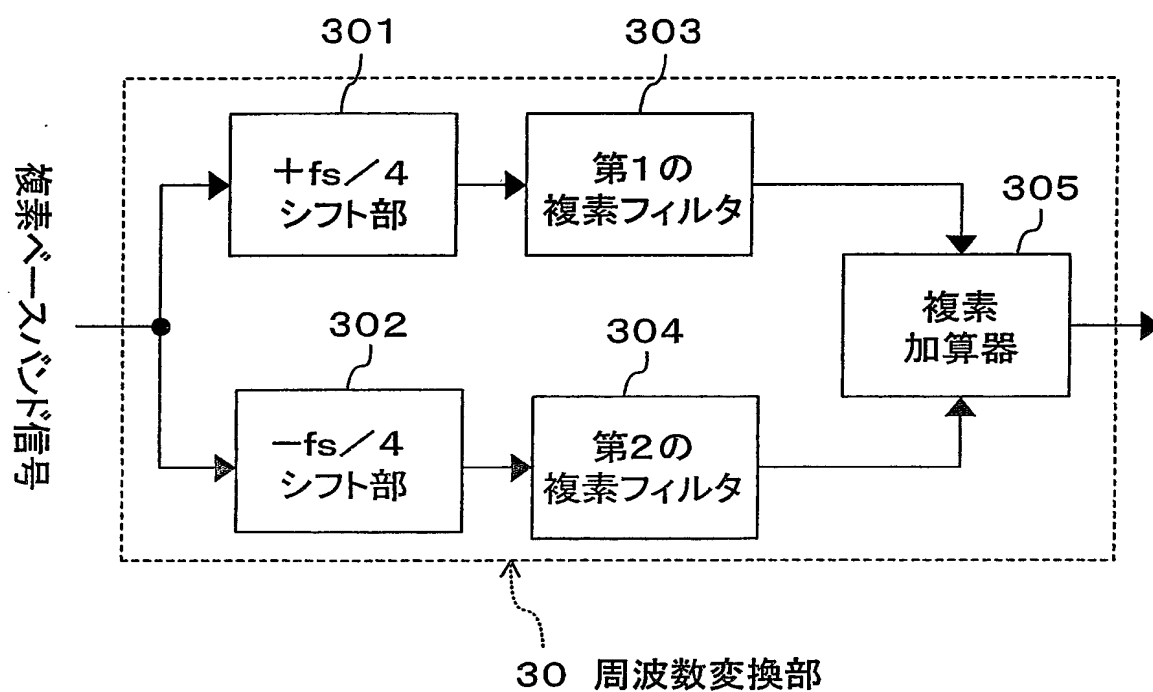


FIG. 5

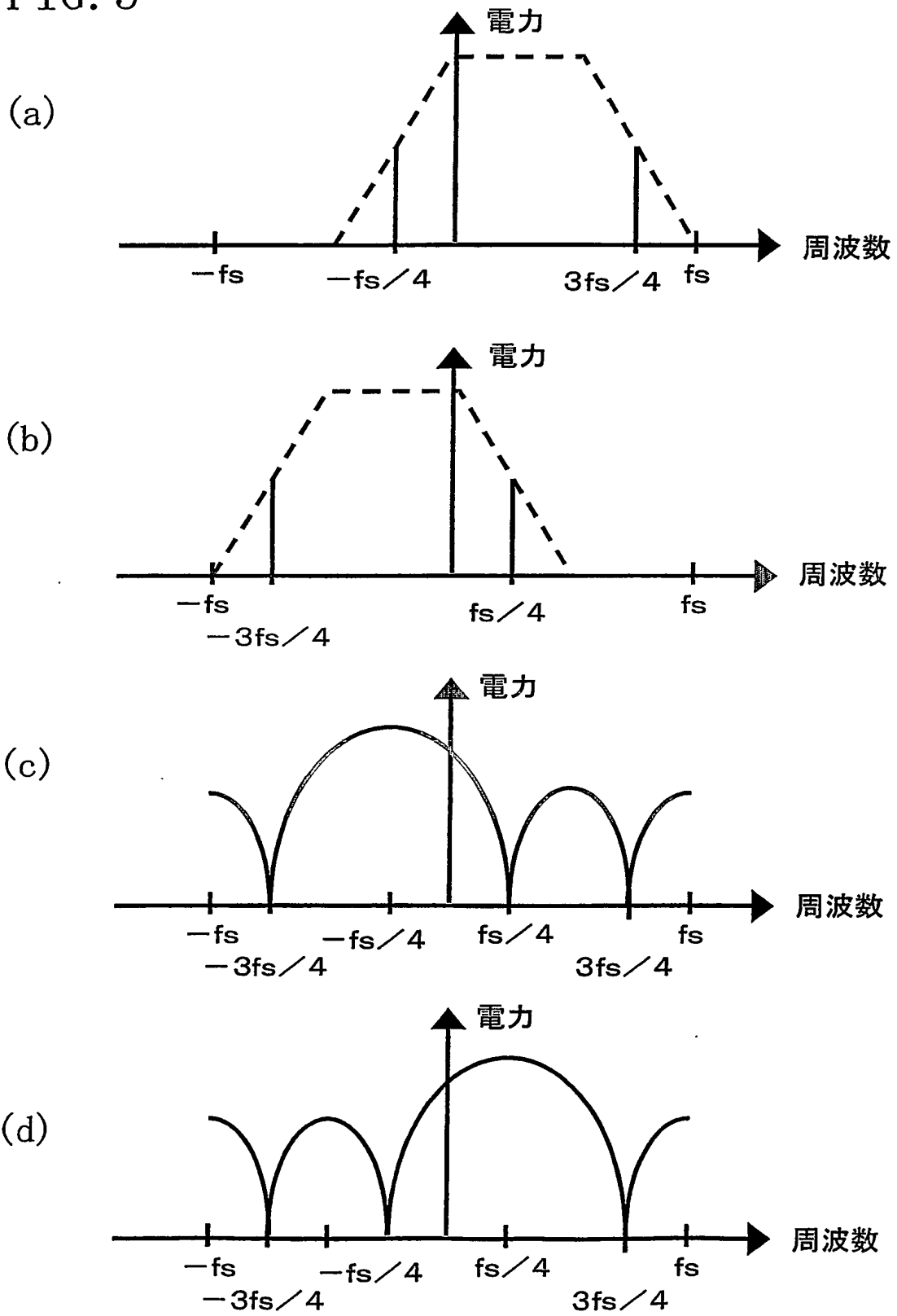


FIG. 6

+ $f_s/4$ シフト部
301

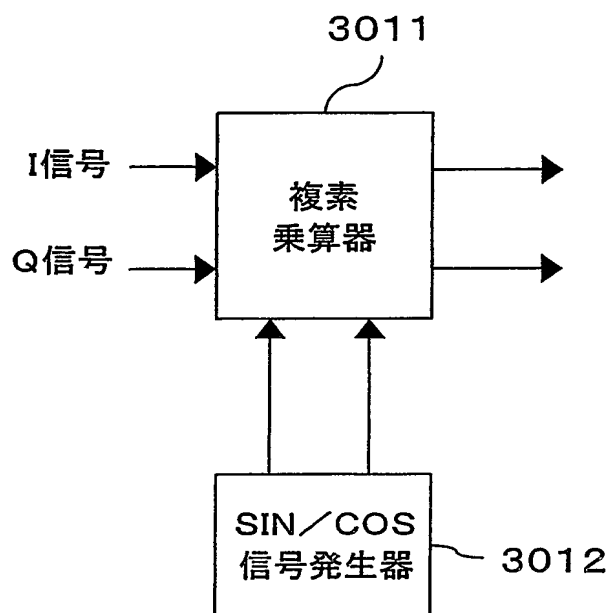


FIG. 7

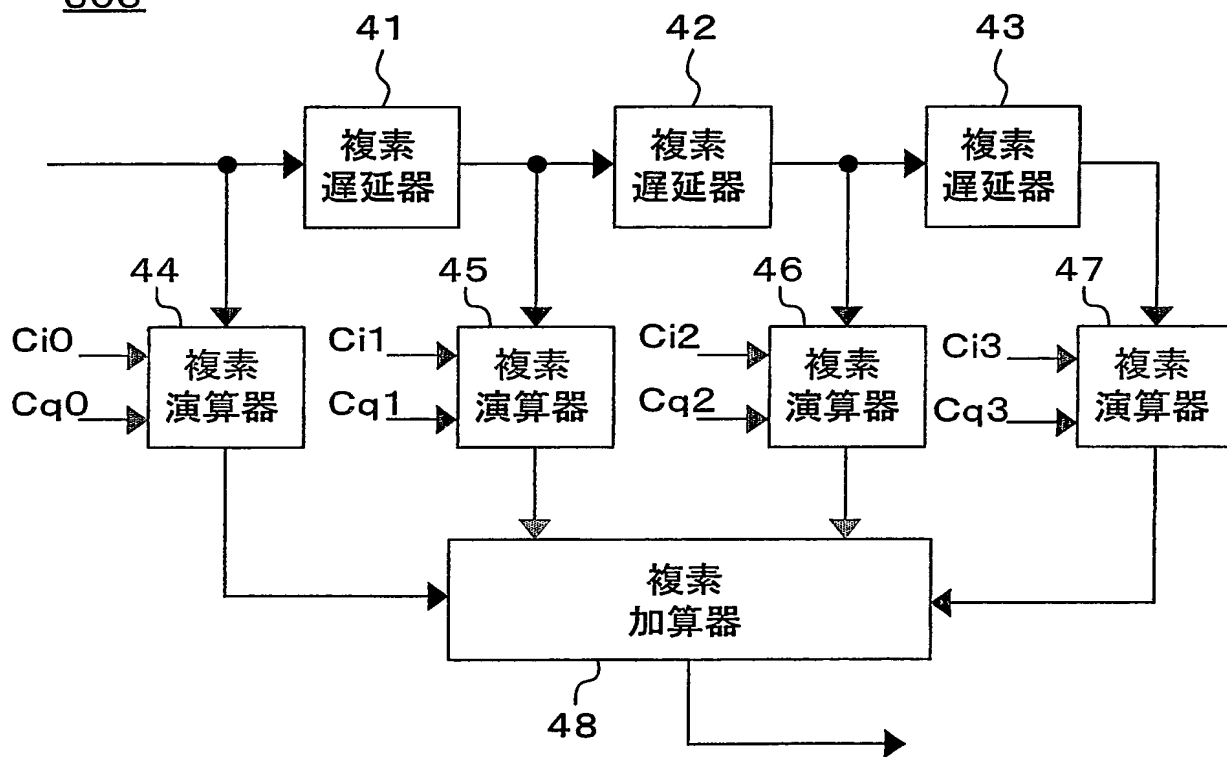
第1の複素フィルタ
303

FIG. 8

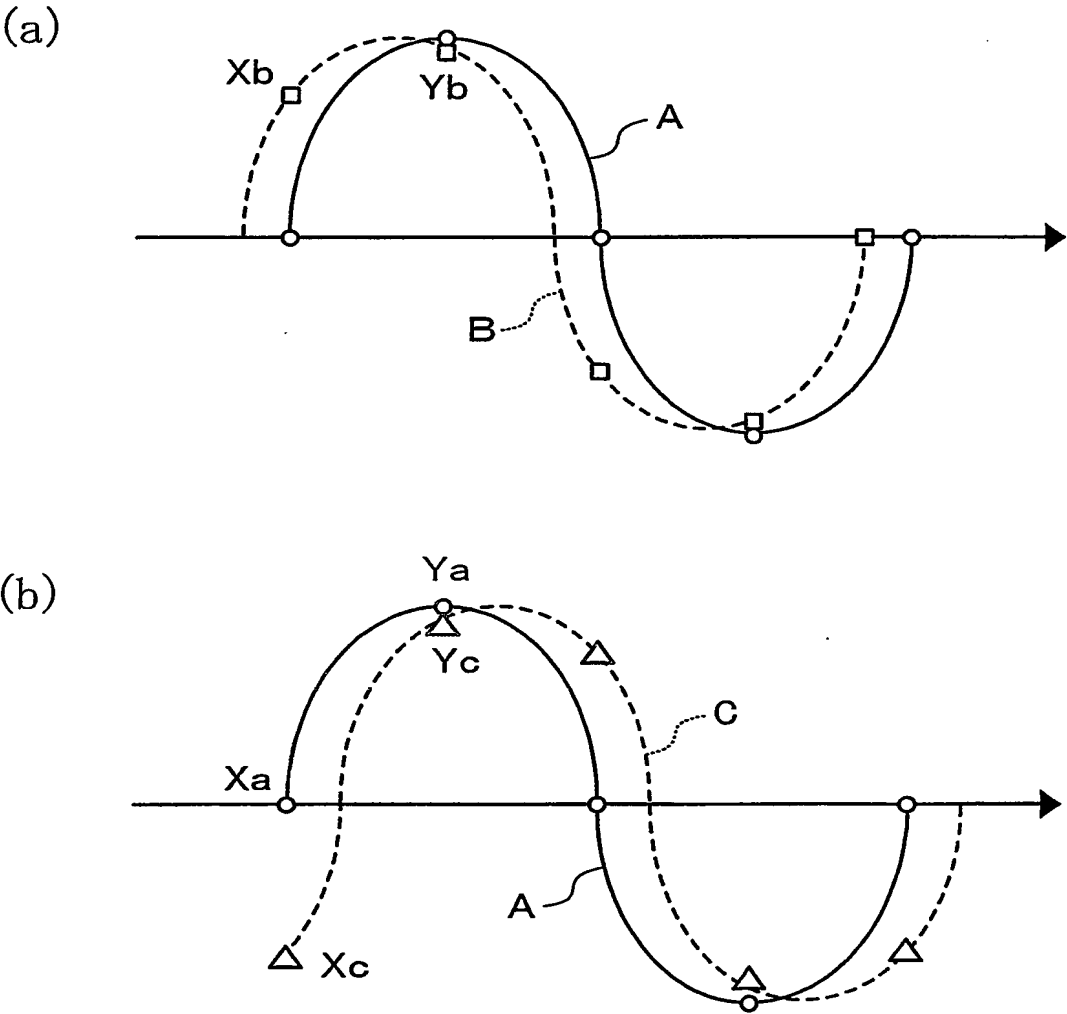


FIG. 9

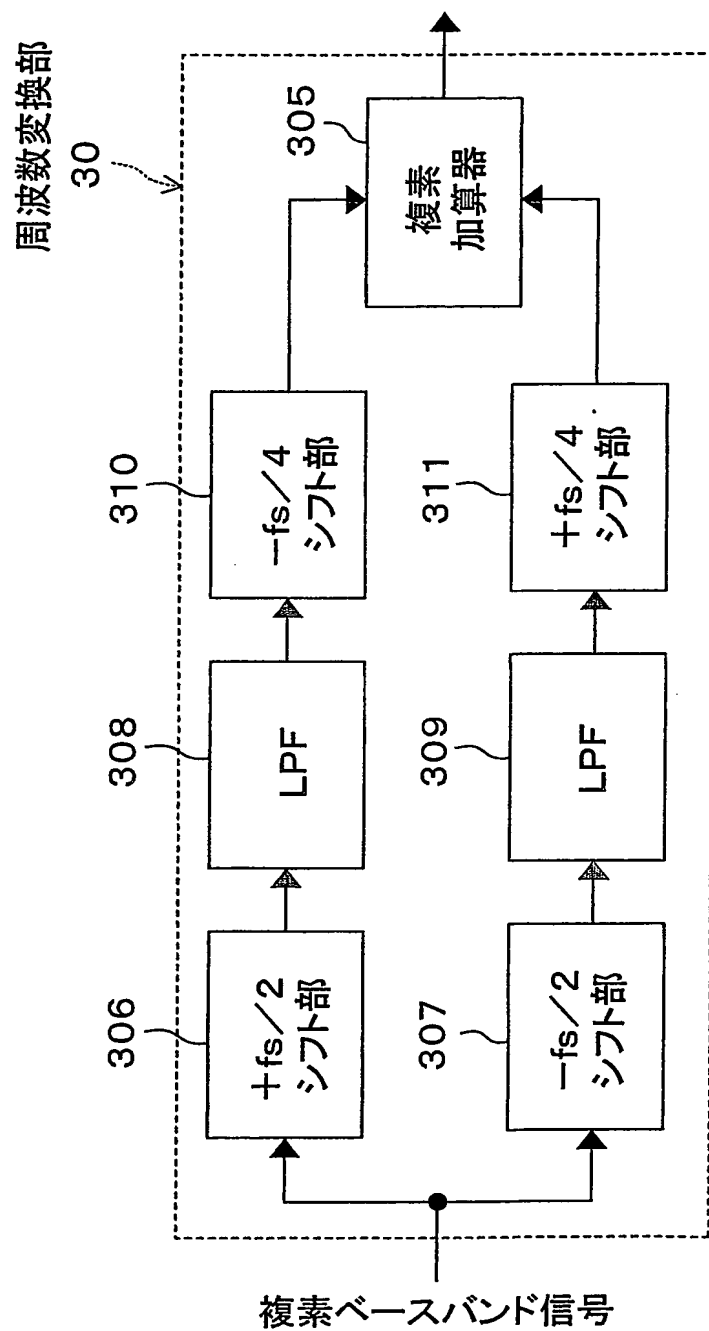


FIG. 10

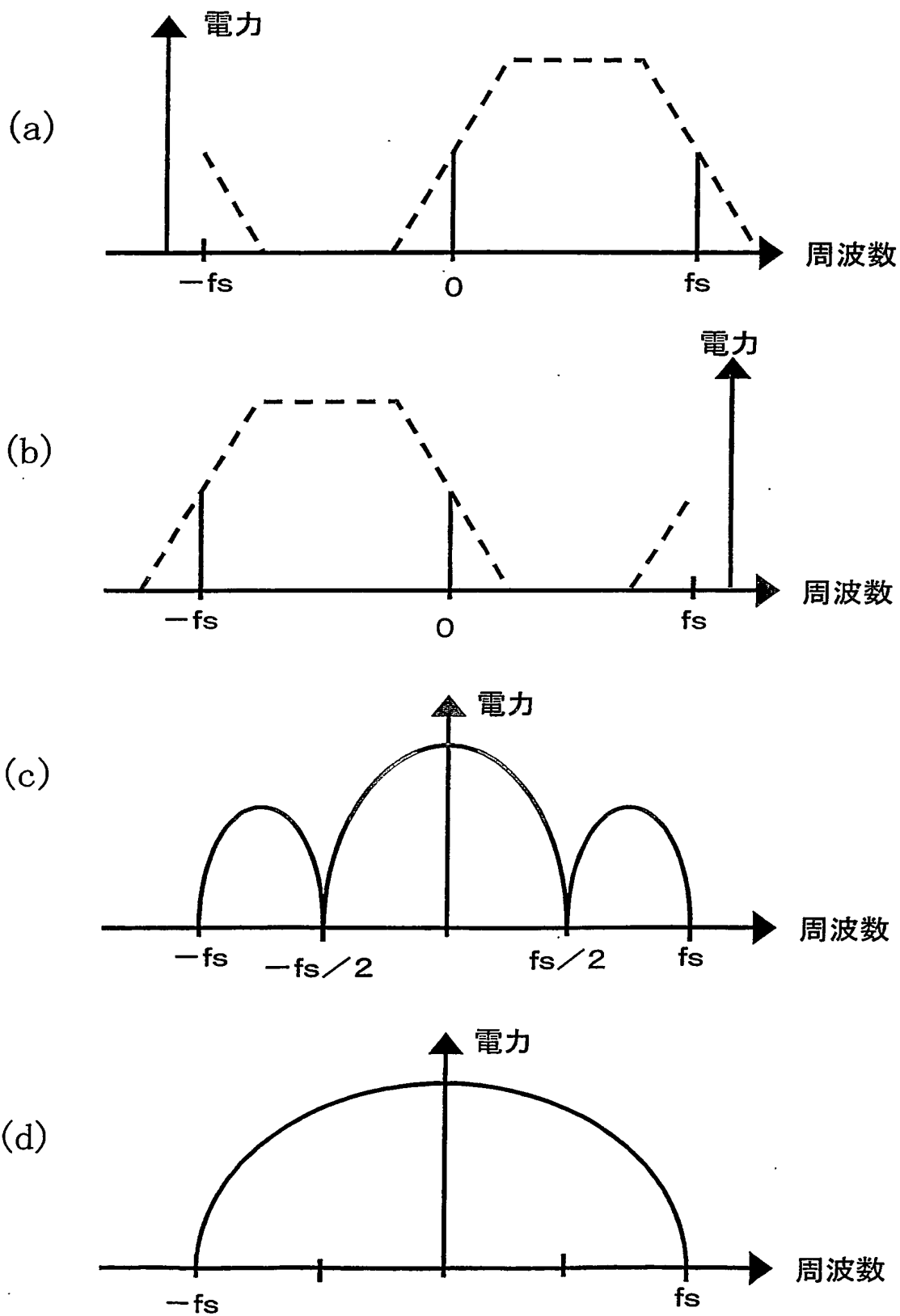


FIG. 11

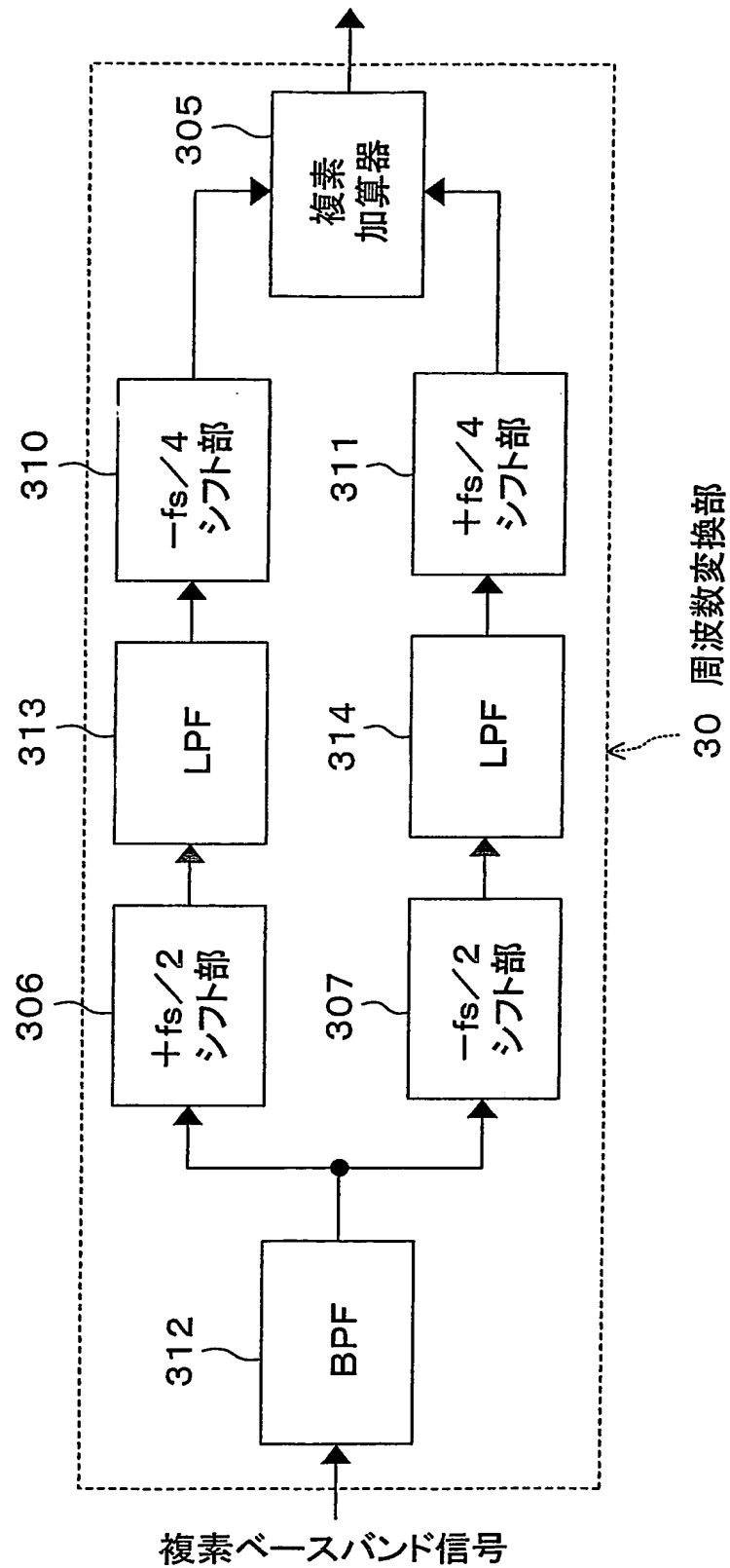


FIG. 12

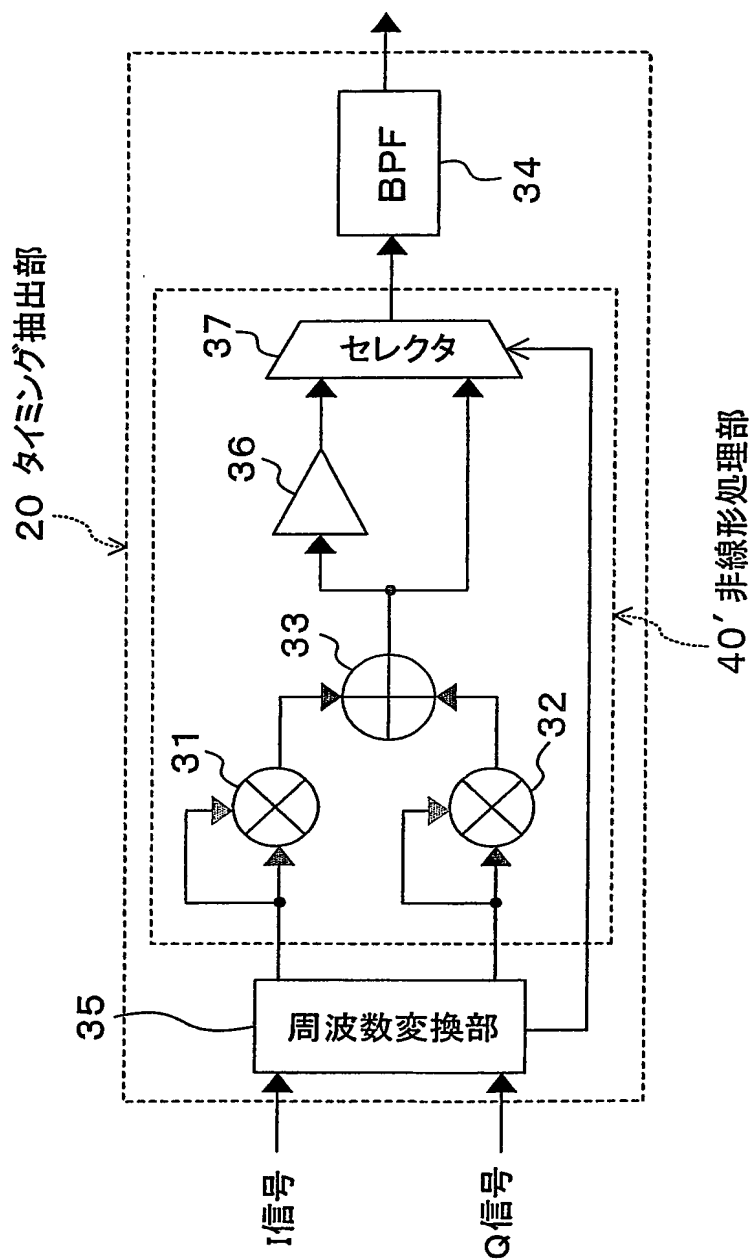


FIG. 13

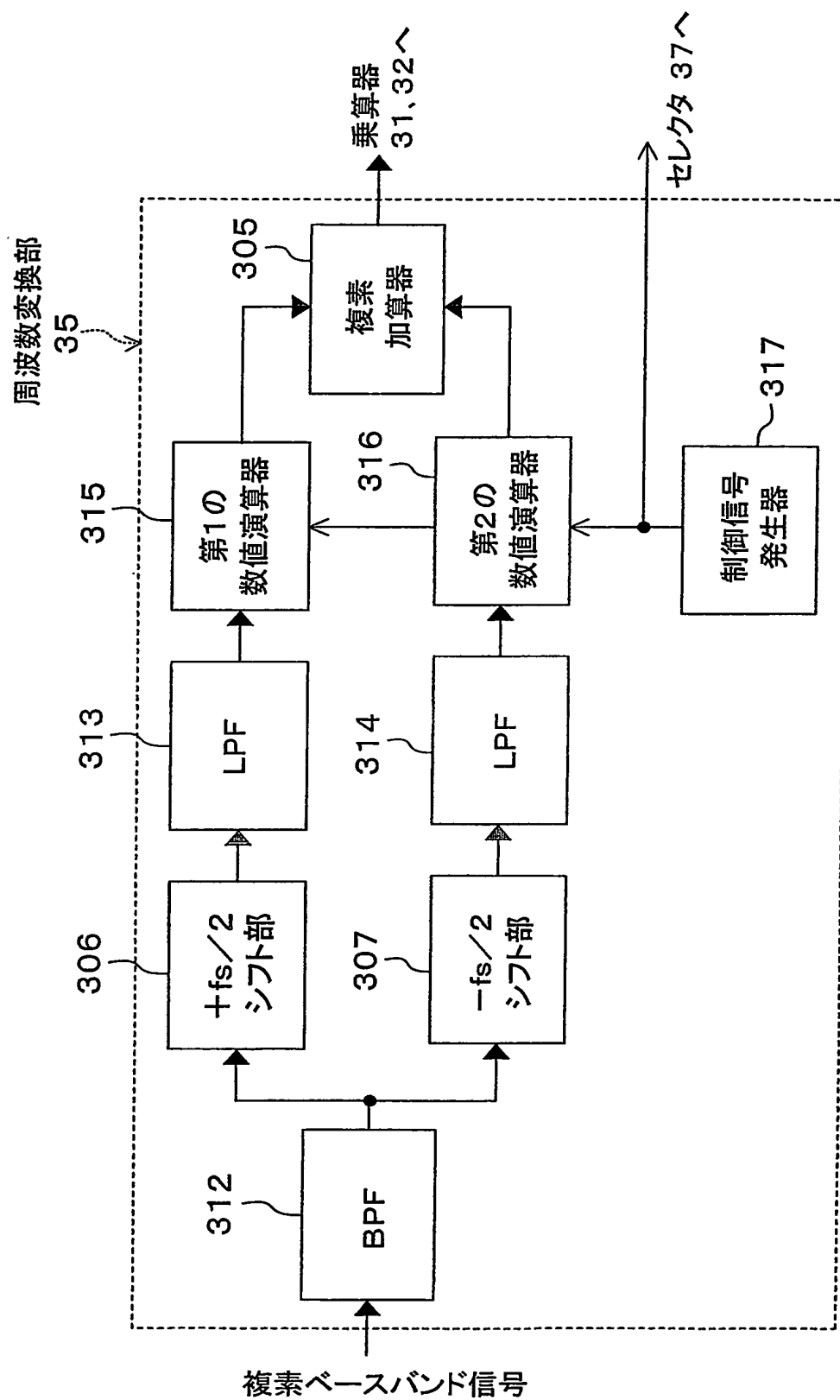


FIG. 14

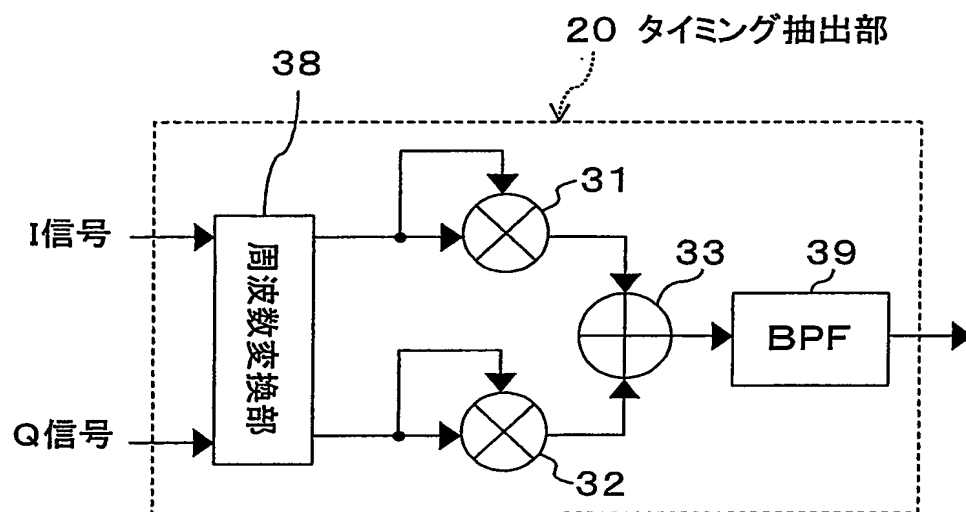


FIG. 15

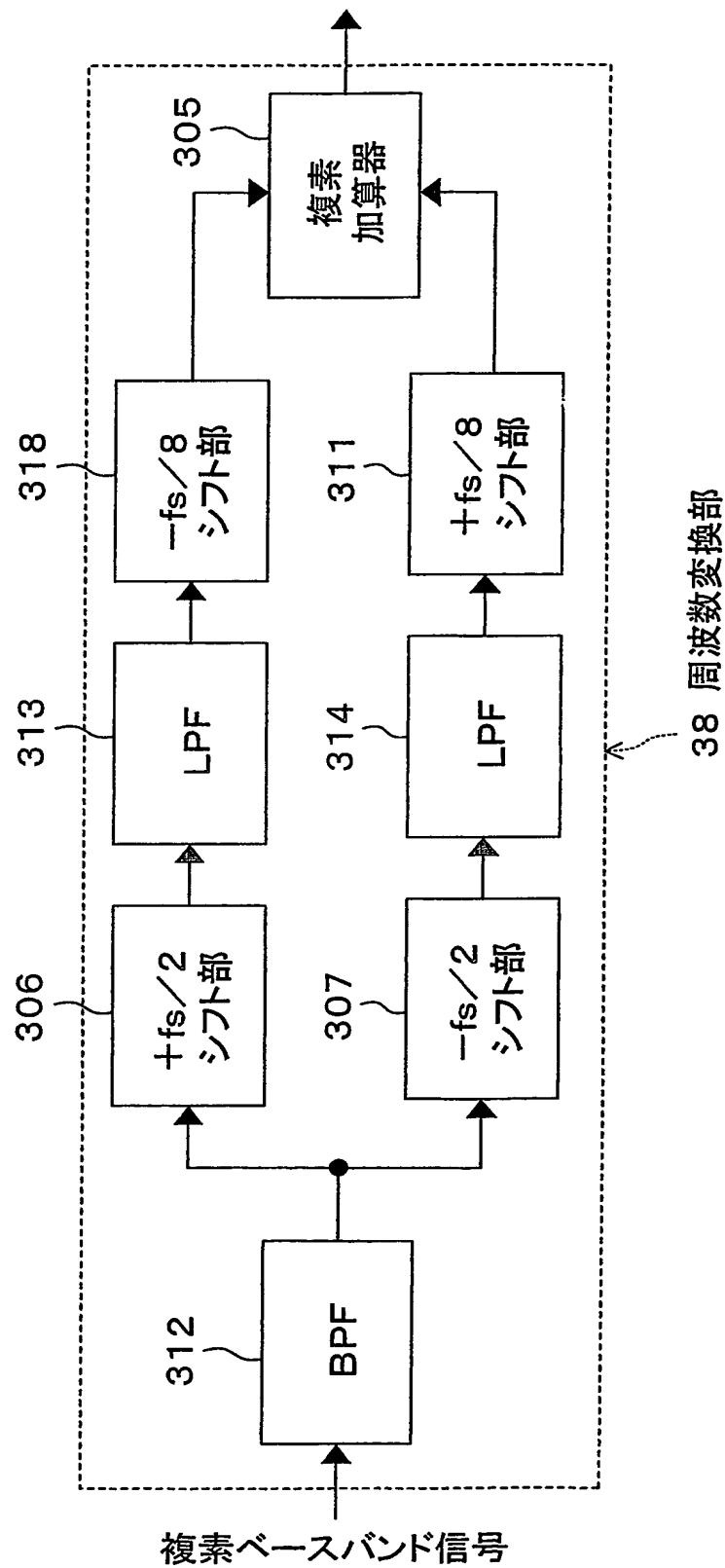


FIG. 16

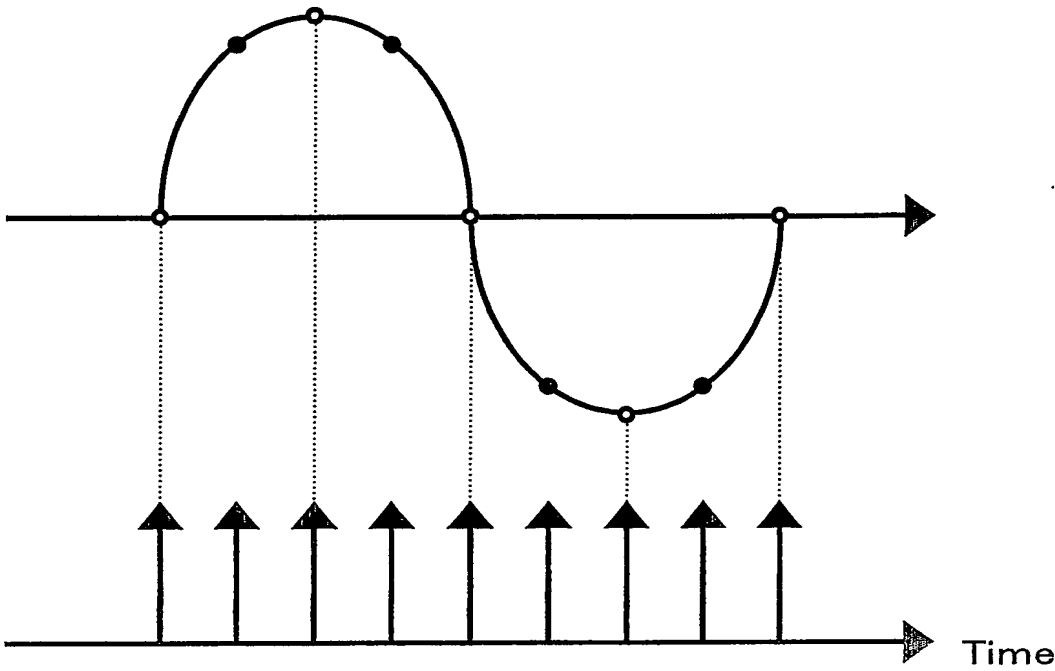


FIG. 17

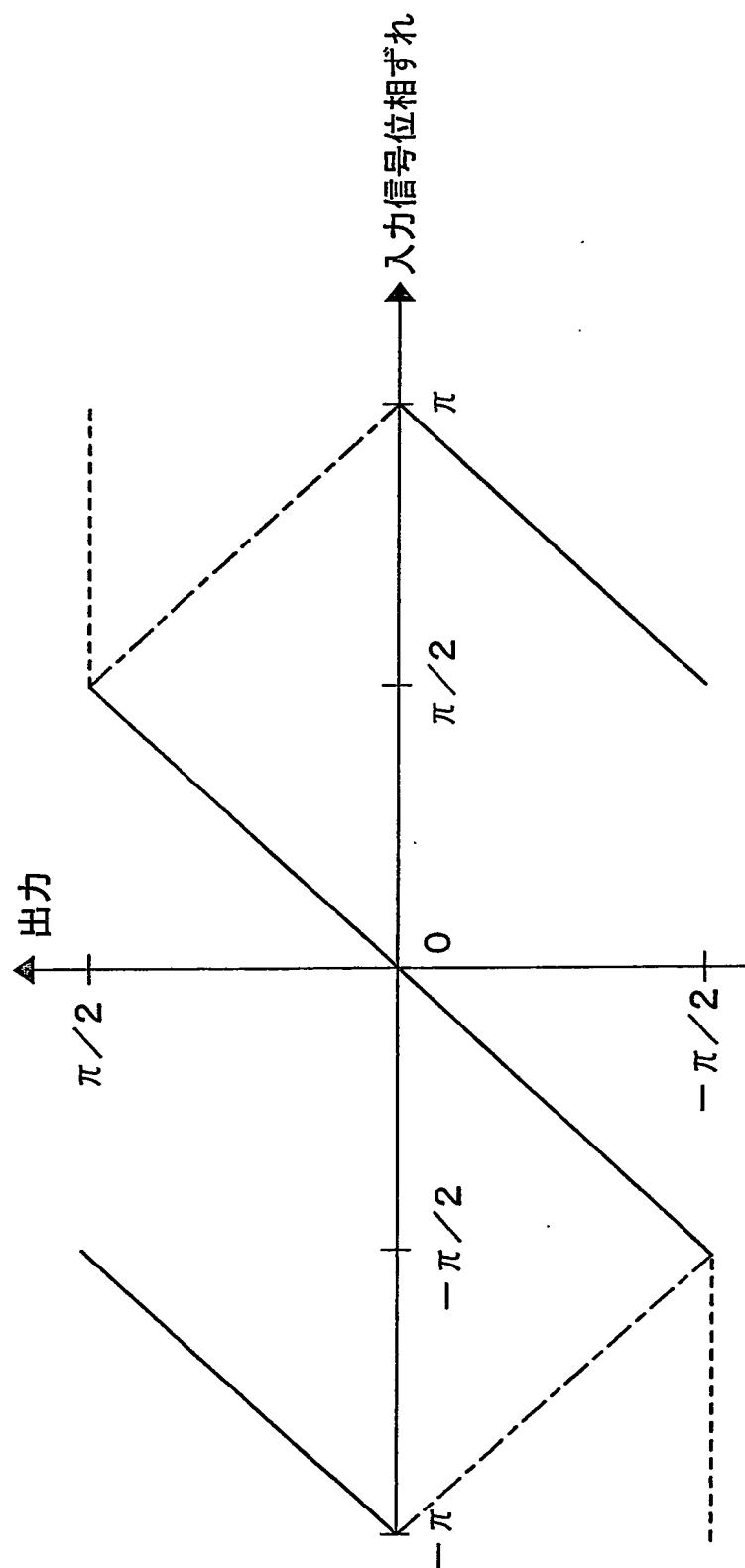
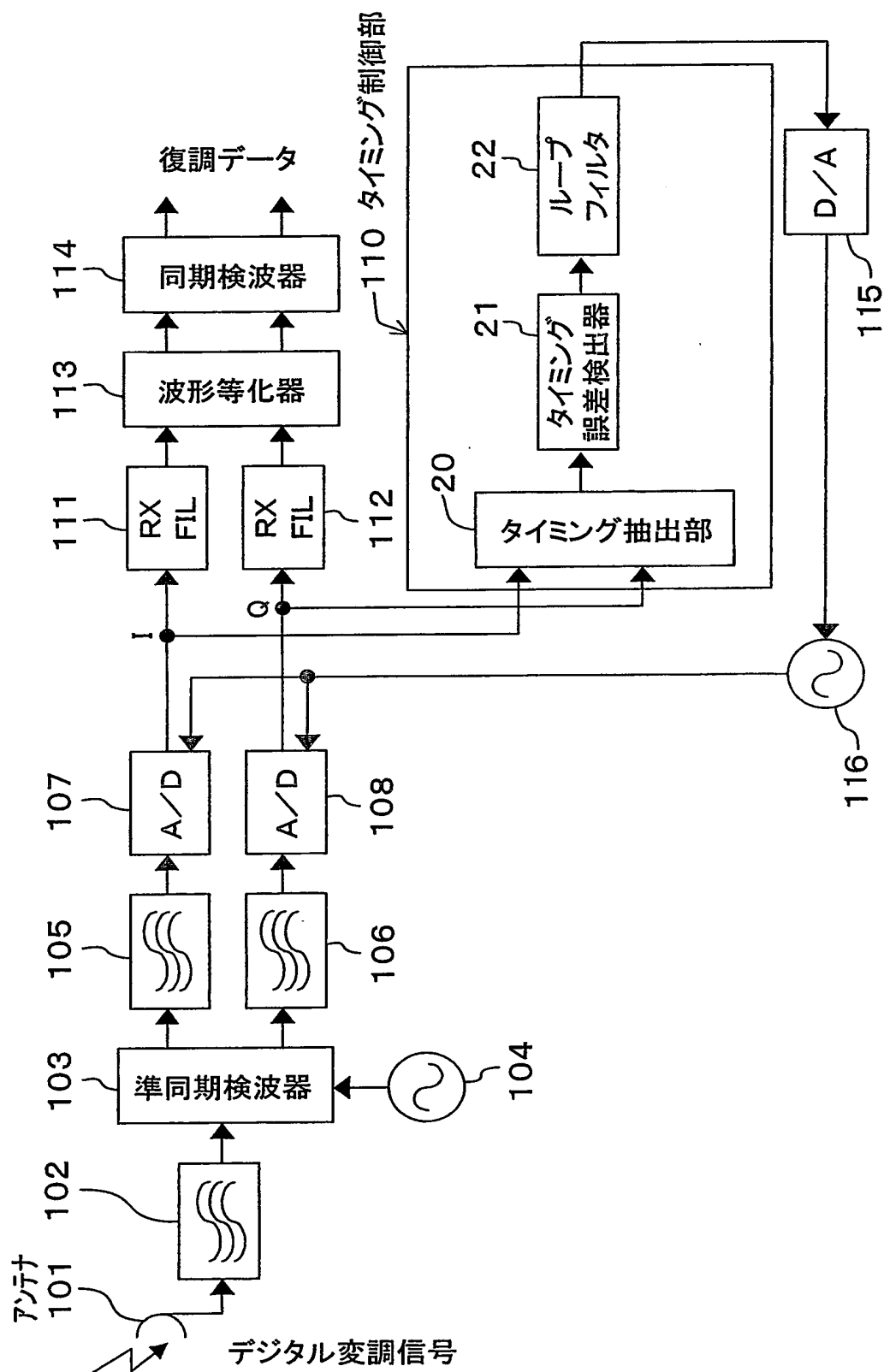


FIG. 18



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008246

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H04L27/22, H04L27/00, H04L7/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H04L27/22, H04L27/00, H04L7/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-127133 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 11 May, 1999 (11.05.99), Par. Nos. [0007] to [0010], [0040] to [0057]; Figs. 1 to 4, 16 to 19 & JP 3153792 B2	1-16
A	JP 61-045658 A (NEC Corp.), 05 March, 1986 (05.03.86), Page 1, right column, line 19 to page 2, upper left column, line 4; page 2, upper right column, line 7 to lower right column, line 1 Figs. 2, 3 (Family: none)	1-16

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 July, 2004 (07.07.04)

Date of mailing of the international search report

20 July, 2004 (20.07.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008246

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 05-207082 A (Fujitsu Ltd.), 13 August, 1993 (13.08.93), Full text & EP 0554036 A2 & US 5442656 A & EP 0554036 B1 & EP 0554036 A3	1-16
A	JP 2555140 B2 (Hitachi, Ltd.), 22 August, 1996 (22.08.96), Full text & JP 01-255338 A	1-16
A	JP 07-226781 A (Nippon Hoso Kyokai), 22 August, 1995 (22.08.95), Full text & JP 03-369291 B2	1-16
A	JP 06-120935 A (Canon Inc.), 28 April, 1994 (28.04.94), Full text (Family: none)	1-16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H04L27/22, H04L27/00, H04L 7/027

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H04L27/22, H04L27/00, H04L 7/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926年-1996年

日本国公開実用新案公報 1971年-2004年

日本国登録実用新案公報 1994年-2004年

日本国実用新案登録公報 1996年-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 11-127133 A (松下電器産業株式会社), 1999.05.11 [0007] ~ [0010], [0040] ~ [0057], 第1図~第4図, 第16図~第19図 & JP 3153792 B2	1-16
A	JP 61-045658 A (日本電気株式会社), 1986.03.05 第1頁右欄第19行~第2頁左上欄第4行, 第2頁右上欄第7行~右下欄第1行,	1-16

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.07.2004

国際調査報告の発送日

20.7.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田中 庸介

5K

3149

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	第2図, 第3図 (ファミリーなし)	
A	J P 05-207082 A (富士通株式会社), 1993. 08. 13 全文 &EP 0554036 A2 &US 5442656 A &EP 0554036 B1 &EP 0554036 A3	1-16
A	J P 2555140 B2 (株式会社日立製作所), 1996. 08. 22 全文 &J P 01-255338 A	1-16
A	J P 07-226781 A (日本放送協会), 1995. 08. 22 全文 &J P 03-369291 B2	1-16
A	J P 06-120935 A (キヤノン株式会社), 1994. 04. 28 全文 (ファミリーなし)	1-16